

Leitfaden der luftschiffahrt und flugtechnik in ...

Raimund Nimführ

Digitized by Google


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
THE GIFT OF
PROF. ALEXANDER ZIWET



Physics Lib
TL
545
.N713

Leitfaden

der

Luftschiffahrt und Flugtechnik

Digitized by Google

361-2

Alexander Ziwek

Leitfaden

der

Luftschiffahrt und Flugtechnik

in gemeinverständlicher Darstellung
und mit besonderer Berücksichtigung
der historischen Entwicklung.

Von

Dr. Raimund Nimführ,
k. k. Universitäts-Adjunkt an der k. k. Zentral-
anstalt für Meteorologie und Geodynamik.

Mit 221 Abbildungen im Text.



Wien und Leipzig
A. Hartleben's Verlag.
1909
(Übersetzungsrecht und alle sonstigen Rechte vorbehalten.)

Digitized by Google

Phys. lib.
Prof. Alex. Ziwet
gft.
4-26-1923

K. und k. Hofbuchdrucker Fr. Winiker & Schickardt, Brünn.

Digitized by Google

Vorwort.

Luftschiffahrt und Flugtechnik haben sich in wenigen Jahren zu neuen wohl fundierten wissenschaftlichen Disziplinen entwickelt. Der aerostatische und der aerodynamische Flug sind bereits zu Kapiteln der angewandten Aerostatik, bzw. Aerodynamik geworden. Die Erfahrung hat gezeigt, daß das Problem des zielsicheren Menschenfluges auf zwei Wegen lösbar ist, nach der aerostatischen Methode durch Verwendung des Auftriebes leichter Gase und auf dynamischem Wege durch ballonfreie Apparate. Es handelt sich jetzt bloß um die weitere Vervollkommnung beider Methoden. Diese erfolgt erfreulicherweise so rasch, daß es eigentlich nur einem glücklichen Zufall zu verdanken war, wenn in dem schon im Juni in Druck gegebenen Werke auch noch die neuesten Fortschritte der Aeronautik und Flugtechnik Berücksichtigung finden konnten.

Vorliegendes Werk soll keine Anleitung zur Erfindung oder zur Konstruktion von lenkbaren Ballons, bzw. von Flugmaschinen geben, sondern, wie schon sein Titel besagt, einen Leitfaden bilden zum Verständnisse der modernen Fahrzeuge zur Fortbewegung durch die Luft. Um dieses Ziel zu erreichen, mußte auch die Entwicklungsgeschichte der Aeronautik und Flugtechnik vorgeführt werden bei möglichster Beschränkung auf das Wesentliche und besonderer Berücksichtigung der mechanisch-physikalischen Seite des Problems. Ebensowenig wird man in dem Buche etwa eine Anleitung zur praktischen Erlernung der Ballonführung suchen dürfen. Es konnten bloß die Punkte angegeben werden, auf welche es in der Praxis wesentlich ankommt. Auch in der Aerostatik wurde das Hauptgewicht stets darauf gelegt, dem Leser einen Einblick in die physikalische und technische Seite der praktischen Luftschiffahrt zu bieten. Die bisher vorliegenden Werke sagten dem Laien teils zu wenig, teils wieder zu viel. Es sollte nun die rechte Mitte gefunden werden zwischen diesen beiden Extremen.

Alles Hypothetische wurde nach Möglichkeit ausgeschaltet. Persönliche Meinungen und Ansichten sind stets als solche gekennzeichnet. Den Tatsachen ist überall der erste Platz eingeräumt. Trotzdem sind

422813

Digitized by Google

aber auch bloße Ideen und Projekte beachtet worden, falls sie originelle Gedanken enthalten oder entwicklungsgeschichtlich von Bedeutung schienen. Wir finden in der Geschichte der Flugtechnik eine Reihe von Beispielen, die zeigen, daß nicht selten bloße Ideen und Projekte wertvoller sein können als wirkliche Versuche. Dies folgt zum Teil schon daraus, daß die Mitarbeiter auf dem Gebiete der Aeronautik sich bisher aus Männern aller Bildungsgrade und Berufe rekrutierten. Neben einem gottbegnadeten Genie wie Leonardo da Vinci finden wir die Namen eines Schusters De Groof, eines Strumpfwirkers Pétin usw. Es ist deshalb auch nicht möglich, die Leistungen der einzelnen Mitarbeiter mit demselben Maße zu messen. Die Darstellung der Entwicklungsgeschichte der Flugtechnik bildet heute noch immer deren Hauptinhalt. Ich wollte aber doch mehr geben als eine bloße Aneinanderreihung von Projekten und Versuchen.

Wo dies nur immer möglich war, bin ich auf die Originalquellen zurückgegangen. Bei Berichten, die in mir unzugänglichen Broschüren veröffentlicht sind, wurden die ausgezeichneten Werke von Chanute und Lécornu zu Rate gezogen. Dem letztgenannten Forscher stand die aeronautische Bibliothek Gaston Tissandiers zur Benützung offen, welche über 900 Werke umfaßt und wohl die reichste Fundgrube für den Historiker bildet.

Um die Fortschritte der Aeronautik und Flugtechnik in Frankreich und Deutschland kennen zu lernen, unternahm ich Mitte Juli dieses Jahres eine vierwöchige Studienreise nach Paris und Berlin. Ich hatte dabei auch Gelegenheit in Le Mans den ersten Flügen von W. Wright beiwohnen zu können.

Auf Empfehlung des österreichisch-ungarischen Botschafters in Paris erhielt ich einen Platz im Arbeitssaal der Nationalbibliothek eingeräumt. Es wurde mir so möglich, auch die ältesten französischen aeronautischen Quellen benützen zu können. Der exakten und kritischen Bearbeitung des historischen Teiles der Aerostatik und Aerodynamik wurde ein besonderes Augenmerk gewidmet. Es ergab sich da die Notwendigkeit, manches unzutreffende Werturteil zu berichtigen. Jetzt, wo der aerostatische und der aerodynamische Flug praktisch realisiert sind, hat sich auch der Augpunkt bezüglich der Beurteilung der Leistungen der Vorgänger und Mitarbeiter an dem großen Werke erheblich geändert. Ich möchte besonders auf die versuchte Ehrenrettung des Wiener Uhrmachers Jakob Degen hinweisen, der namentlich im Ausland ein jahrhundertlang als Charlatan verlacht wurde, dessen Namen wir aber in Hinkunft, wie das Quellenstudium erwiesen hat, den ersten Pfadsuchern und den hervorragendsten Forschern auf dem Gebiete der Flugtechnik werden beizählen müssen.

Digitized by Google

Bis in die neueste Zeit herrschte zwischen den Anhängern des aerostatischen und des aerodynamischen Fluges eine erbitterte Fehde. Die Verfechter des „plus lourd que l'air“ sahen in dem Ballon bloß einen Hemmschuh der Entwicklung der Flugtechnik. Noch in dem ausgezeichneten, wiederholt zitierten Werke von Otto Lilienthal „Der Vogelflug etc.“ findet sich ein Kapitel mit der Überschrift „Der Ballon als Hindernis“. Er spricht dort sehr abfällig vom „Ballontaumel“ und meint, „die Schuld an dem kümmerlichen Standpunkt der Flugfrage“ trage, „vielleicht nicht zum geringsten die Erfindung des Luftballons. Die Luftschiffahrt im eigentlichen Sinne kann uns nur nützen, wenn wir schnell und sicher durch die Luft dahin gelangen, wohin wir wollen und nicht wohin der Wind will. In der Erreichung dieses Zieles hat der Ballon uns doch wohl nur gestört.“

Die Ballontechniker verhielten sich wieder der ballonfreien Flugmaschine gegenüber skeptisch oder völlig ablehnend. Dieses unerquickliche Verhältnis zwischen den beiden Schulen spiegelt sich natürlich auch in der aeronautischen Literatur wieder. Wer aus irgendeinem Grunde sich veranlaßt sehen sollte, die aeronautischen Publikationen eingehender durchzusehen, wird auf diesen Umstand Rücksicht nehmen müssen. Entweder ist der Autor eines Werkes ein unbedingter Anhänger des Motorballons, dann klingen seine Äußerungen über die ballonfreien Flugmaschinen meist recht laienhaft und lassen die erforderliche Objektivität vermissen, und umgekehrt ist der Flugtechniker nur zu sehr geneigt, in der ballonfreien Flugmaschine alles Heil der Luftschiffahrt zu sehen und den Motorballon bloß als „Hemmschuh“ zu betrachten. Auch die neueren Schriften der hervorragendsten aeronautischen Fachmänner sind von diesem Fehler noch nicht ganz frei.

Motorballon und Flugmaschine sind heute bereits auf einer Stufe der Entwicklung angelangt, die deren beiderseitige Existenzberechtigung schon ganz außer Frage stellt und jede Diskussion über die Möglichkeit eines lenkbaren Ballons oder einer ballonfreien Flugmaschine zu einem müßigen Wortgezänke machen muß. Jedes der beiden Luftvehikel hat seine spezifischen Vor- und Nachteile, worüber wir vorläufig freilich kaum mehr als vage Vermutungen aussprechen können. Aus diesem Grunde wäre es wohl im Interesse beider Disziplinen wünschenswert, in Hinkunft reinliche Scheidung eintreten zu lassen. Es wird dann auch möglich sein, daß selbst ein unbedingter Anhänger der ballonfreien Flugmaschine großen intellektuellen Genuß finden kann an der Lektüre einer Schrift über Motorballons, und auch der Motorballon-Techniker wird anfangen, die Arbeiten der Flugtechniker mit Freude zu studieren, wenn ihn dieser mit seinen meist rückständigen Anschauungen über die Ballontechnik lieber ganz verschont. Es wird damit auch der

Digitized by Google

künstlich geschaffene Gegensatz zwischen der aerostatischen und aerodynamischen Luftschiffahrt, der im Wesen der Sache gar nicht begründet und darum auch durchaus unberechtigt ist, fallen müssen.

Als besonderes Merkmal seiner Darstellung möchte der Autor anführen, daß er die aerostatische und aerodynamische Luftschiffahrt mit gleicher Liebe und gleicher Sorgfalt als einander koordinierte Disziplinen behandelt hat. Von Haus aus Flugtechniker und als solcher den einseitigen und beschränkten Standtpunkt teilend, der damals in der flugtechnischen Literatur vorherrschte, gelang es ihm erst dann auf einen freieren Standpunkt sich zu stellen, als er Gelegenheit hatte, als wissenschaftlicher Ballonfahrer auch in die praktische Aeronautik eingeführt zu werden. Die hervorragenden Erfolge des Lebaudy-Ballons, welche alles bis dahin Geleistete weitaus in den Schatten stellten, ließen ihn schon 1904 erkennen, daß das automobile Ballonluftschiff nicht nur keine „Utopie“ sei, wie die Parole der österreichischen Flugtechniker bis dahin lautete, sondern es zeigte sich, daß der so viel verlästerte lenkbare Ballon bereits einen hohen Grad der Entwicklung erreicht hat. Dies sind die Gründe, weshalb es notwendig und wünschenswert schien, auch die wesentlichsten Tatsachen der Ballontechnik in den Leitfaden aufzunehmen.

Um auch dem flugtechnisch Vorgebildeten doch einige Anregung zu bieten, habe ich in einem Schlußkapitel eine kurze Zusammenstellung der wesentlichsten theoretischen Sätze der Flugtechnik gegeben. Von diesem theoretischen Teile möchte ich dasselbe sagen, was Boltzmann von dem mathematischen Teil seiner „Gastheorie“: „Der „Praktiker“ braucht ihn nicht zu lesen, er möge ihn aber auch nicht kritisieren!“ Die Mathematik ist übrigens im theoretischen Anhang ganz Nebensache. Sie ist im Sinne Ernst Machs als ein ökonomisches Hilfsmittel zur quantitativen Beschreibung der Tatsachen anzusehen. Nichts weiter. Bei den meisten Problemen läßt sich derzeit ja kaum mehr als der Ansatz geben. Auf die möglichst strenge Formulierung der grundlegenden Gedanken wurde aber stets ein Hauptgewicht gelegt. Mit Ausnahme einiger weniger referierender Abschnitte dürfte deshalb wohl auch auf den theoretischen Teil noch die Bezeichnung „gemeinverständlich“ gültig sein. Die Mühe, welche die Durcharbeitung erfordert, wird reichlich belohnt werden; denn erst durch die Verbindung mit der Theorie ist ein voller Einblick in das Verständnis der Flugtechnik und Aeronautik möglich. Man kann freilich ein sehr tüchtiger Ballonführer sein und schon Hunderte von Fahrten ausgeführt haben, ohne einen klaren Begriff vom Gasauftrieb zu haben, ebenso kann ein Flugtechniker auf glänzende praktische Leistungen voll Stolz zurückblicken, ohne sich über die Grundprinzipien der Aerodynamik je viel

Digitized by Google

den Kopf zerbrochen zu haben. Wir wollen deshalb den Nur-Praktiker nicht gering schätzen. Gerade in der Flugtechnik läßt sich aber mit der reinen Empirie sehr wenig anfangen. Da muß die Theorie heran, die allein ein ergiebiges Experimentieren in Gedanken[1]) ermöglicht. Mit Vorsicht und Verständnis angewandt, wird die Theorie für den experimentierenden Flugtechniker stets ein wertvoller Leitstein sein. Freilich kann nur der disziplinierte Denker aus der Anwendung der Theorie erheblichen Nutzen ziehen. Andererseits kann vor zu weit ausgedehnten theoretischen Spekulationen ohne zureichende experimentelle Basis nicht genug gewarnt werden.

Ein weiteres Kapitel soll zur Einführung in die flugtechnische Literatur dienen. Beide Schlußkapitel verfolgen auch noch den Zweck, diejenigen, welche sich an der theoretischen Vervollkommnung der Flugtechnik beteiligen wollen, in Hinkunft vor nutzlosen Energievergeudungen möglichst zu bewahren. Bei dem bisherigen Mangel eines „Leitfadens“ in der Literatur geschah es bis in die neueste Zeit, daß selbst sehr hervorragende Techniker, wenn sie sich flugtechnisch betätigten, einen längst veralteten Standpunkt eingenommen haben, wodurch ihre Arbeiten meist erheblich entwertet, wenn nicht völlig wertlos gemacht wurden. .Wegen dieser vielfachen Rücksichtnahme auf einen recht inhomogenen Leserkreis konnte natürlich noch kein harmonisch abgerundetes einheitliches Ganze zustande kommen, sondern höchstens ein mosaikartiges Bild.

Der Mangel einer festen Terminologie machte sich bei dem Versuche einer Darstellung der Flugtechnik in peinlicher Weise fühlbar. Eine feste einheitliche Terminologie bildet aber die Grundlage jeder Wissenschaft. Dem einzelnen Forscher, der bloß über seine eigenen Arbeiten berichtet, mag sich der Mangel einer genügend ausgebildeten Terminologie weniger unangenehm bemerkbar machen wie demjenigen, der die Ergebnisse aus einer großen Reihe von Versuchen wissenschaftlich beschreiben soll. Ich war deshalb gezwungen, mir eine eigene Terminologie zu schaffen. Der weitere Ausbau derselben muß der Zukunft überlassen bleiben. Um aber auch für diejenigen das Werk leserlich zu machen, welche nicht Lust haben, sich mit meiner Terminologie erst vertraut zu machen, habe ich im ersten Teile und auch in den historischen Teilen mich bemüht, mit der Vulgärsprache auszukommen, so daß das Buch auch jedem Laien in den wesentlichsten Teilen verständlich bleibt.

Von der Behandlung der Militär-Aeronautik und der Aerologie, der Verwendung des Luftballons für militärische und meteorologische

[1]) Man sehe: Mach: Erkenntnis und Irrtum.

Digitized by Google

Zwecke mußte abgesehen werden. Einige Hinweise mögen genügen. Beide Disziplinen besitzen ja bereits eine reiche Literatur, so daß deren Ausscheidung aus dem Rahmen des „Leitfadens“ um so mehr gerechtfertigt erscheint. Dieser soll ja nicht ein Handbuch für Fachleute sein, sondern in erster Linie zur Einführung von Anfängern dienen. Auch die sportliche Aeronautik, die in dem letzten Dezennium namentlich in Frankreich und Deutschland großen Aufschwung genommen hat, konnte bloß gestreift werden. Diejenigen, welche tiefer eindringen wollen in die genannten Zweige der praktischen Aeronautik, seien auf den literarischen Leitfaden im Anhang verwiesen.

Die Auswahl der Figuren erfolgte mit großer Sorgfalt; sie sind bis auf wenige Ausnahmen vom Text ganz unabhängig. Zur Erklärung wurden ausführliche Legenden beigefügt. Die meisten Figuren, welche die neueste Entwicklung des Lenkballons und des Drachenfliegers darstellen, wurden nach Originalphotographien (zumeist von der Firma Branger in Paris) hergestellt. Zur Erleichterung des Verständnisses sind auch zahlreiche schematische Strichzeichnungen beigefügt.

Der Tierflug konnte, um den Umfang des Buches nicht allzuweit auszudehnen, nicht mehr in der wünschenswerten Breite behandelt werden. Um doch wenigstens anregend zu wirken, habe ich einige Figuren eingefügt und im literarischen Anhang auf die wesentlichsten Werke verwiesen. Dieser scheinbare Mangel fällt um so weniger in die Wagschale, als es ja derzeit schon eine Reihe von ausgezeichneten Werken über den Tierflug, insbesondere den Vogelflug gibt; ich erwähne hier bloß die Arbeiten von Marey, Ahlborn usf.

So möge nun dieses Werk hinauswandern in die Welt und überall dazu beitragen, das Verständnis und das Interesse für die schönen Wissenschaften der Luftschiffahrt und der Flugtechnik zu fördern und in immer weitere Kreise zu tragen.

Dr. Raimund Nimführ.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

I. Teil. Der aerostatische Flug.

Der gewöhnliche Kugelballon.

Historisches.

Technik des Kugelballons.

Der lenkbare Ballon.

Geschichtliches.

Digitized by Google

Die modernen Lenkballontypen.

Technik des Lenkballons.

II. Teil. Der aerodynamische Flug.

Die Gleit- und Segelflieger.

Geschichtliches.

Die Schraubenflieger.

Geschichtliches.

Die Schwingenflieger.

Geschichtliches.

Digitized by Google

Die Drachenflieger.

Geschichtliches.

Technik der Drachenflieger.

III. Teil. Theoretische Flugtechnik.

Zur experimentellen Aerodynamik (Luftwiderstand und Winddruck).

Lotrechter und schräger Fall durch die Luft.

Schwebe- und Translationsarbeit.

Einige spezielle Theoreme über Drachen- und Gleitflieger.

Genetische Darstellung der Zustandsgleichungen der aerodynamischen Flieger.

Digitized by Google

Luftwiderstandstheorie auf empirischer Basis.

Einige wichtige physikalische Sätze.

Allgemeine Hydrodynamik in ihrer Beziehung zur Flugtechnik und Aeronautik.

Die longitudinale Stabilität von Gleit-, Drachen- und Schwingenfliegern.

Zur Statik und Dynamik des Ballons.

Zur Theorie des Lenkballons.

IV. Teil. Anhang.

Leitfaden zur Einführung in die aeronautische und flugtechnische Literatur.

Digitized by Google

Leitfaden

der

Luftschiffahrt und Flugtechnik

Digitized by Google

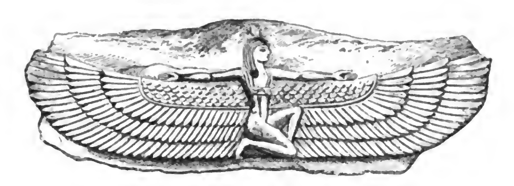


Fig. 1. Ägyptische Plaque.
Aus Bronze, Echtheit unbestritten. Im Louvre, Paris.

Einleitung.

Allgemeine historische Vorbemerkungen. Bis in die prähistorische Zeit können wir die Spuren zurückverfolgen, die darauf hinweisen, daß das Fliegen dem Menschen seit jeher als die idealste Fortbewegungsart erschien. Die Mythologien aller Völker geben davon Zeugnis. Merkur, der flinke Götterbote, eilt beschwingten Fußes durch die Lüfte. Die Flugbewegung ist in der Vorstellung des naiven Menschen noch ausschließlich den Göttern und den überirdischen Wesen vorbehalten. Die Beobachtung des Dahinsegelns der großen massigen Haufenwolken und des Fluges der mächtigen Raubvögel mußte aber wohl auch recht frühzeitig die Idee des Menschenfluges nahelegen. In der Tat wissen auch bereits die ältesten Mythen und Legenden uns von fliegenden Menschen zu erzählen. Die bekannteste dieser Sagen ist jene von Dädalus und Ikarus, die auf künstlichen Schwingen aus der Gefangenschaft des Königs Minos entflohen. Ovid beschreibt in seinen Metamorphosen ausführlich die kunstvolle Herstellung der Fittiche aus Federn, nach dem Muster der Vogelflügel. Die beiden kühnen Flieger stürzten sich von einem Hügel aus in die Luft. Ikarus fand, der Sage nach, auf dieser Flugreise ein tragisches Ende. Er wagte sich, trotz der Warnung seines Vaters Dädalus, zu hoch; die Sonne schmolz das Wachs, mit dem die Federn befestigt waren, und Ikarus stürzte in das Meer.

Eine altnordische Mythe aus der „Wilkina und Niflunga Saga" erzählt von dem kunstfertigen Schmied Wieland, der sich mit Hilfe seines Bruders Egil ein Flügelkleid baute, um aus der Gefangenschaft des Königs Niding von Nord-Jütland zu entkommen. Wieland unterweist seinen Bruder, der den fertiggestellten Apparat zunächst erproben soll, gegen den Wind aufzufliegen und gibt ihm absichtlich den falschen Rat, mit dem Winde niederzugehen; er fürchtet nämlich, Egil könnte ihm vielleicht davonfliegen. Dieser stürzt deshalb bei der Landung und kommt knapp mit dem Leben davon. Wieland will nun angeblich den Apparat verbessern; er legt ihn mit Hilfe seines Bruders an und fliegt heimwärts nach seinem Vaterlande Seeland.

Auf den Karolineninseln hat sich eine Tradition erhalten, nach der Oulefat, der Sohn eines göttlichen Geistes, ein großes Feuer anzündete, dessen Rauch ihn emporhob und ihn bis zum Sitze seines

Digitized by Google

Vaters trug. Dieser Mythus scheint darauf hinzudeuten, daß das Aufsteigen des Rauches bei manchen Beobachtern die Idee der Möglichkeit, sich mit seiner Hilfe in die Luft zu erheben, angeregt hat.

Nach der Religion der Inder besteigt Hanouman den Gipfel eines Hügels und nachdem er den Rat des weisen Jambaranta entgegengenommen hat, stürzt er sich in die Lüfte und läßt sich nach Lanka fallen, gerade wie er es gewünscht hatte.

Diodor von Sizilien erzählt, daß der skythische Magier Abaris von Apollo einen goldenen Pfeil erhalten habe, mit dessen Hilfe er sich durch die Luft bewegte.

Dem persischen König Xyaxares soll von seinen Magiern ein geflügelter Thron gefertigt worden sein, der von vier gezähmten Adlern durch die Luft gezogen wurde. Bei der Auffahrt wurde den ausgehungerten Vögeln ein Stück Fleisch vorgehalten. In dem Bestreben, das Fleisch zu fassen, hoben sie den Thron in die Luft.

Ähnliche Legenden und Sagen, die von der Fortbewegung von Menschen durch die Luft erzählen, finden wir bei allen Völkern. Man wird aus ihnen wenigstens die instinktive Vorahnung der Möglichkeit des Menschenfluges herauslesen dürfen und die tiefe Sehnsucht, sich dem Vogel gleich in die Lüfte aufzuschwingen.

Das Fliegen als Problem. Von einem Problem des Fliegens können wir indes erst in historischer Zeit sprechen. Nach den derzeit vorliegenden Berichten müssen wir annehmen, daß der griechische Mathematiker und Philosoph, Archytas von Tarent, ein Zeitgenosse Platos (im vierten Jahrhundert vor Chr.), sich als erster mit dem Fliegen als Problem befaßte. Offenbar angeregt durch die Beobachtung des Vogelfluges, stellte er sich die Aufgabe, einen künstlichen Vogel herzustellen. Es soll ihm auch in der Tat gelungen sein, einen mechanischen Vogel zu konstruieren, der sich in die Luft erhob. In den attischen Nächten von Aulus Gelle, dem einzigen antiken Text, der sich mit diesem Gegenstande befaßt, lesen wir: „Die hervorragendsten griechischen Autoren, darunter der Philosoph Favorinus, welcher mit so großer Sorgfalt die alten Erinnerungen gesammelt hat, haben im bestimmtesten Tone erzählt, daß eine hölzerne Taube von Archytas auf mechanischem Wege hergestellt wurde und sich erhob." Wenn man hört, daß Archytas ein geschickter Mechaniker gewesen war, dem man die Erfindung der Schraube und der Rolle verdankt, wird man die Berichte über die fliegende Taube nicht einfach in das Reich der Fabel zählen wollen. Ob Archytas sich auch mit dem Problem des Menschenfluges beschäftigte oder ob ihm seine mechanische Taube Selbstzweck war, darüber ist nichts bekannt. Jedenfalls hat er zum ersten Male sich das Problem gestellt, einen schweren Körper durch mechanische Mittel zum freien Fluge zu bringen, und dieses anscheinend auch gelöst.

Das Suspensions- oder Schwebeproblem. Das Fliegen wird dadurch zum Problem, daß jeder Körper ein bestimmtes Gewicht besitzt, durch das er gegen die Erdoberfläche gedrückt wird. Die Folge dieses Gewichtes ist, daß ein Körper, den man hochhebt und dann frei läßt, wieder zu Boden fällt. Es gibt jedoch eine große Gruppe von organisierten Körpern, die trotz ihres zum Teil sehr erheblichen

Digitized by Google

Gewichtes imstande sind, sich vom Erdboden abzuheben und längere oder kürzere Zeit in der Luft zu verweilen. Man bezeichnet in der vulgären Sprache ganz allgemein jede Art der Fortbewegung durch die Luft als Fliegen. Wir wollen zunächst bei dieser Terminologie bleiben. Das Flugproblem umfaßt sonach die Lösung folgender beiden Aufgaben in sich. Der Körper, der flugfähig gemacht werden soll, muß erstens befähigt werden, sich vom Boden abzuheben und sich in der Luft in Schwebe zu halten; zweitens muß er, unabhängig von der gerade herrschenden Windrichtung, sich mit möglichst großer Geschwindigkeit in der Luft vorwärtsbewegen können. Das erste Problem bezeichnen wir als Suspensions- oder Schwebeproblem, das zweite als das Translations- oder Fortbewegungsproblem.

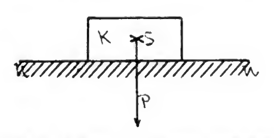


Fig. 2 A. Körper auf fester Unterlage. Druckrichtung lotrecht. Mittelkraft greift im Schwerpunkte S an. Intensität des Druckes P gegen die Unterlage UU durch den Gewichtsdruck gemessen.

Fig. 2 B. Körper auf fester Unterlage. Wirkt auf den Körper K ein lotrechter Zug A nach oben, so wird der Gewichtsdruck auf die Unterlage von P auf $P—A$ vermindert.

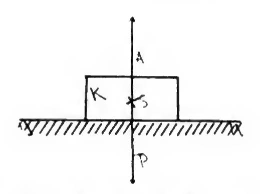


Fig. 2 C. Körper auf fester Unterlage. Ist der Zug nach oben, der Auftrieb A, gleich dem Gewichtsdrucke P, dem Abtriebe, so verschwindet der Druck auf die Unterlage.

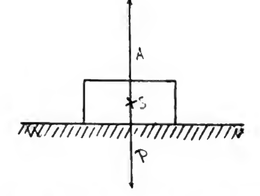


Fig. 2 D. Körper auf fester Unterlage. Wird der Auftrieb A größer als der Abtrieb P, so nimmt der Körper eine der Differenz $A—P$ proportionale Beschleunigung nach oben an, der Körper hebt sich von der Unterlage ab.

Soll ein Körper imstande sein, sich vom Boden abzuheben, so muß auf ihn lotrecht nach oben ein Zug wirken, der größer ist als der nach unten wirkende Druck seines Gewichtes. Einen derartigen Zug bezeichnen wir allgemein als Auftrieb. Ist der Auftrieb kleiner als das Gewicht eines Körpers, so wird dessen Druck gegen seine Unterlage wohl um den Betrag des Auftriebes vermindert werden, der Körper kann sich aber noch nicht vom Boden abheben. Wird

Digitized by Google

der Auftrieb gleich dem Gewichte des Körpers, so wird dessen Druck gegen die Unterlage aufgehoben und der betrachtete Körper wird scheinbar gewichtlos; er wird, in eine beliebige Höhe gebracht, weder steigen noch sinken, sondern überall in Schwebe bleiben. Läßt man den Auftrieb jetzt noch um ein geringes größer werden, so bewegt sich der Körper dauernd nach oben; er steigt auf, u. zw. um so rascher, je größer der Überschuß des Auftriebes über das Gewicht des Körpers ist. Das Suspensions- oder Schwebeproblem können wir also jetzt genauer dahin formulieren: es soll ein Auftrieb erzeugt werden, der größer ist als das Gewicht des Flugkörpers. Als Flugkörper wollen wir in der Folge jede Vorrichtung bezeichnen, die flugfähig gemacht werden soll.

Das Translations- oder Fortbewegungsproblem. In einer vollkommen unbewegten Atmosphäre würde die Lösung des Translationsproblems keine wesentlichen Schwierigkeiten mehr bieten. In horizontaler Richtung wirkt ja auf einen schwebenden Flugkörper kein überall und ständig wirkender Druck oder Zug nach Art des Gewichtsdruckes. Es genügt deshalb ein verhältnismäßig geringer Antrieb, um



Fig. 3. Luftwiderstand von Flächen.
Fläche F senkrecht zu ihrer Ebene in ruhiger Luft bewegt mit der Geschwindigkeit V; es tritt ein Luftwiderstand L auf, steht senkrecht zur Fläche.

Fig. 4. Winddruck gegen Flächen.
Luft strömt mit der Geschwindigkeit V senkrecht gegen die Fläche F an; es tritt ein Winddruck W senkrecht zur Fläche auf.

einen schwebenden Flugkörper in wagerechtem Sinne durch die Luft vorwärts zu treiben. Bei großen Fluggeschwindigkeiten macht sich jedoch der Einfluß des Mediums geltend. Die Luft wirkt erfahrungsgemäß auf jeden in ihr bewegten Körper bremsend, geschwindigkeitsvermindernd. Soll ein Flugkörper mit großer und gleichbleibender Geschwindigkeit sich durch die Luft bewegen, muß deshalb auf ihn auch ein dauernder Antrieb von erheblicher Größe ausgeübt werden.

In strömender Luft sind die Verhältnisse noch wesentlich ungünstiger. Die bewegte Luft, der Wind, übt auf jeden Körper, gegen den er stößt, einen Druck aus, der um so größer wird, je rascher die Strömung ist. Infolge dieses Winddruckes muß auch ein in der Luft freischwebender Flugkörper allmählich die Geschwindigkeit der Windströmung annehmen. Erst wenn der Flugkörper sich ebenso rasch bewegt, als die Luft fließt, entfällt jede weitere Stoßwirkung des Windes. Der Flugkörper bewegt sich dann mit der ihn umgebenden Luft als einheitliches Ganzes; er erfährt von der Luft weder einen Druck, noch kann er gegen diese einen ausüben.

Soll ein Flugkörper imstande sein, sich unabhängig von der gerade herrschenden Windrichtung und Windstärke durch die Luft zu bewegen, so muß er fähig sein, dem Winddruck einen gleich großen,

Digitized by Google

aber verkehrt gerichteten Antrieb entgegensetzen zu können. Der Flugkörper wird dann auch im Winde über demselben Orte der Erdoberfläche sich in Schwebe zu halten vermögen, ohne in der Richtung des Windes abgedriftet zu werden.

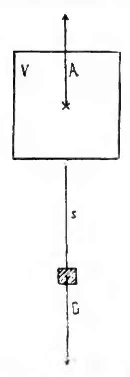


Fig. 5. Aerostatischer Auftrieb.

Hohlkörper vom Inhalt *V* mit gewichtloser Hülle; innen luftleer. Es tritt der Luftauftrieb *A* auf, gleich dem Gewichtsdrucke der verdrängten Luft. An gewichtlosen Faden *s* hängt die Last *G*. Diese wird abgehoben, wenn $A = G$, und steigt auf, wenn $A > G$ wird.

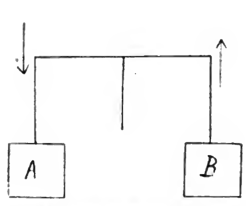


Fig. 6. Aerostatischer Auftrieb.

Gefäß *A* enthält atmosphärische Luft; das gleich große Gefäß *B* Wasserstoffgas. Beide Gefäße werden an Fäden an die Wagbalken einer feinen Wage gehängt. Das Gefäß mit Wasserstoff hebt sich. Wasserstoffgas ist also leichter als ein gleiches Volumen atmosphärischer Luft. Die schwerere Luft drückt den leichteren Wasserstoff nach oben.

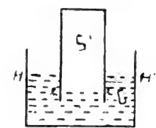


Fig. 8. Beweis für die Körperlichkeit der Luft.

Gefäß *S'* in ein mit Wasser gefülltes Becken *G* getaucht. Wasserspiegel *h*, *h'* im Gefäß *S'* tiefer als im Becken. Läßt man durch eine Öffnung im Gefäß *S'* Luft entweichen, so stellt sich das Wasserniveau in beiden Gefäßen wieder gleich hoch ein.

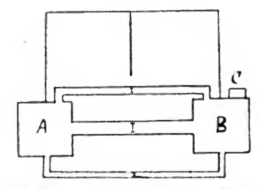


Fig. 7. Gasgewicht und Gasdruck.

Wir belasten das Gefäß *B*, das Wasserstoff enthält, so lange, bis der Wagbalken wieder horizontal steht, und verbinden *A* und *B* durch symmetrisch zu beiden Gefäßen liegende Röhren. Um eine Mischung der Gase zu verhindern, schieben wir in die Röhren Pfropfen, welche sich ohne Reibung leicht verschieben können. Wir finden, daß die Pfropfen keine Verschiebung erfahren. Beide Gase üben also gegeneinander denselben Druck aus.

Wir werden im folgenden sehen, daß das Translationsproblem, so leicht löslich es auf den ersten Blick auch scheinen mochte, infolge

Digitized by Google

der heftigen Strömungen, die in der Atmosphäre zu überwinden sind, an Schwierigkeit das Schwebeproblem nicht nur erreicht, sondern nach gewisser Richtung dieses sogar noch übertrifft.

Methoden zur Erzeugung von Auftriebskräften. Der zur Erreichung und dauernden Erhaltung des Schwebezustandes eines Flugkörpers erforderliche Auftrieb kann nach zwei prinzipiell voneinander verschiedenen Methoden erzielt werden. Die erste heißt die aerostatische, die zweite die aerodynamische.

Der aerostatische Auftrieb. Wir verbinden den Flugkörper mit einem zweiten geeigneten Körper derart, daß das Gewicht der von beiden zusammen verdrängten Luft größer ist als das Gewicht des ganzen Systems. Da jeder Körper das Bestreben hat, so tief als möglich zu sinken, und der schwerere den leichteren in die Höhe drängt, wird auch die schwerere Luft den als Ganzes leichteren Flugkörper am Fallen hindern können und so bewirken, daß dieser in gleicher Höhe in Schwebe bleibt. Den Hilfskörper bezeichnen wir kurz als „Ballon". Ein Kubikdezimeter oder ein Liter Luft wiegt unter gewöhnlichen Verhältnissen rund 1·3 Gramm. Den obigen Betrag könnte also der Auftrieb der Luft nicht übersteigen, selbst wenn sie gegen einen gleich großen Hohlraum drücken würde, der vollkommen luftleer wäre. Einen größeren Druck, als seinem Gewicht entspricht, kann ja ein ruhender Körper, auch gegen einen anderen drückend, nicht ausüben. Ist der Ballon nicht luftleer, sondern mit einem Gase gefüllt, so ist der Auftrieb pro Volumeinheit ersichtlich bloß gleich dem Überschusse des Luftgewichtes über das Gasgewicht. Ein Kubikmeter Wasserstoffgas wiegt unter gewöhnlichen Verhältnissen rund 0·1 Gramm, das gleiche Volumen Leuchtgas rund 0·6 Gramm. Wird ein Ballon mit Wasserstoffgas gefüllt, so gibt eine Volumeinheit desselben einen Auftrieb von 1·3—0·1 = 1·2 Gramm und bei Leuchtgasfüllung 1·3—0·6 = 0·7 Gramm.

Ein mit Wasserstoff gefüllter Ballon von 100 Kubikmeter Inhalt wird also einen maximalen Auftrieb von 120 Kilogramm haben können. Man ersieht schon daraus, daß erheblich große Gasblasen nötig sind, um selbst verhältnismäßig nur geringe Tragkräfte zu erzielen.

Die Körperlichkeit der Luft war schon den griechischen Philosophen wohlbekannt. Anaxagoras beweist diese durch den Widerstand der in Schläuchen eingeschlossenen Luft gegen das Zusammenpressen. Die Luft hindert nach Empedokles das Wasser, in ein mit abwärts gekehrter Mündung eingetauchtes Gefäß einzudringen. Archimedes fand schon im dritten Jahrhundert vor Chr. den Satz über den Auftrieb der flüssigen Körper. Er zeigte, daß beim Eintauchen in eine Flüssigkeit jeder Körper einen scheinbaren Gewichtsverlust erleidet, entsprechend dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeitsmenge. Die anscheinend so naheliegende Anwendung dieses Satzes auf die Luft unterblieb aber. Wenn auch schon in der antiken Zeit erkannt wurde, daß die Luft die Natur eines Körpers habe, drängte sich diese Körperlichkeit doch niemals so augenfällig und handgreiflich auf wie bei den starren Körpern und den Flüssigkeiten. Erst im sechzehnten Jahrhundert macht der italienische Physiker Galileo Galilei den Versuch, das Gewicht der Luft zu bestimmen. Er wiegt eine nur Luft enthaltende Glasflasche,

Digitized by Google

und nachdem die Luft durch Erwärmen teilweise vertrieben war, wiegt er die Flasche wieder. Die Differenz beider Wägungen gibt ihm das Gewicht der Luft. Die Messung war wohl roh und konnte nur eine beiläufig richtige Zahl liefern. Es ergab sich aber doch schon die Tatsache, daß die Luft ein bestimmtes Gewicht besitzt. Der Archimedische Satz des Auftriebes mußte demnach auch für die Luft Geltung haben. Diese Erfahrungen hätten anscheinend schon genügen können, die Erfindung des Luftballons vorzubereiten. Wir werden sehen, daß bis dahin aber noch ein weiter Weg war.

Der aerodynamische Auftrieb. Außer durch Anwendung eines Ballons kann man noch durch eine ganze Reihe von Mitteln Auftriebskräfte erzeugen und dadurch einen Flugkörper befähigen, den Gewichtsdruck seiner Masse zu überwinden und sich in die Luft zu erheben. Man faßt alle diese Methoden unter der Bezeichnung der aerodynamischen Auftriebserzeugung zusammen. Sie haben das gemeinsame Merkmal, daß die Erzeugung des Auftriebes den Verbrauch von mechanischer Arbeit bedingt. Diese kann entweder durch die Muskelkraft der Insassen des Flugkörpers geleistet werden oder es muß ein besonderer Motor mitgenommen werden.

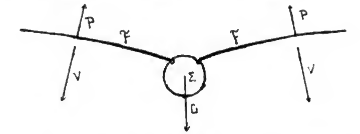


Fig. 9. Aerodynamische Auftriebserzeugung.

Die auf- und niederschwingenden Flügel F F erzeugen einen Reaktionsdruck (Luftwiderstand) P P, dessen lotrechte Komponenten als Auftrieb wirken und das scheinbare Gewicht des Flugkörpers G verringern. Wenn $P + P = 2P$ gleich wird G, so bleibt der Apparat in gleichbleibender Höhe in der Luft in Schwebe.

Die auf- und niederschwingenden Flügel des Vogels mögen zunächst als Beispiel dienen für die Art der Erzeugung von aerodynamischen Auftriebskräften durch Arbeitsleistung. Durch den Flügelschlag schafft der Vogel sich den Auftrieb, der ihn befähigt, trotz seines Gewichtes sich in der Luft zu erhalten. Der Flügelschlag erfordert den Aufwand einer bestimmten Muskelarbeit seitens des Vogels. Es wurde ja schon dargelegt, daß die Luft jeder raschen Bewegung in ihr einen erheblichen Widerstand entgegensetzt. Die Überwindung eines Widerstandes bedingt aber den Aufwand einer bestimmten mechanischen Arbeit. Die Arbeit, welche nötig ist, um einen Körper in der Luft dauernd in Schwebe zu halten, bezeichnen wir als Schwebearbeit.

Das Problem des aerodynamischen oder ballonfreien Fluges läßt sich nunmehr dahin präzisieren: Es soll mit dem geringst möglichen Aufwand an Schwebearbeit ein möglichst großer aerodynamischer Auftrieb erzielt werden.

Wir werden schon jetzt auf einen prinzipiellen Unterschied, der zwischen der aerostatischen und aerodynamischen Auftriebserzeugung

besteht, aufmerksam. Der aerodynamische Auftrieb erfordert den Aufwand einer bestimmten Schwebearbeit, der aerostatische Auftrieb dagegen nicht. Könnte man einen Ballon aus einer luft- und gasundurchlässigen Hülle herstellen, so würde er den seinem Volumen entsprechenden Auftrieb unbegrenzt lange beibehalten, u. zw. ohne jeden Arbeitsverbrauch. Bei einem aerodynamischen Flugkörper erfordert dagegen die Erzielung und dauernde Erhaltung des Schwebezustandes auch den fortgesetzten Verbrauch einer bestimmten Motorarbeit, der Schwebearbeit.

Der gewöhnliche Ballon (Heißluft- und Gasballon). Der älteste aerostatische Flugkörper ist der Luftballon, wegen seiner meist kugelförmigen Form auch Kugelballon oder einfach Ballon schlechthin genannt. Sein physikalisches Verhalten ist dadurch charakterisiert, daß er weder eine Schwebearbeit noch auch eine Antriebsarbeit zu leisten hat. Seine Vorwärtsbewegung durch die Luft ist ein bloßes Treiben oder Driften, bewirkt durch den Wind. In vollkommen windstiller Luft ist der Kugelballon nicht imstande, eine horizontale Bewegung anzunehmen: er müßte über dem Orte der Erdoberfläche, über dem er sich gerade befindet, unbeweglich stehen bleiben. Bloß in vertikalem Sinne ist der Kugelballon leicht lenkbar. Man braucht zu diesem Zwecke bloß den Inhalt des Ballonkörpers so groß zu wählen, daß sein Auftrieb bei der Auffahrt das Gewicht der toten Last mehr der Nutzlast um einen gewissen Betrag übersteigt. Man nennt diesen Auftriebsüberschuß den freien Auftrieb des Ballons. Durch Aufnahme von Sand in den Ballonkorb wird der freie Auftrieb so lange vermindert, bis der Ballon nach dem Freilassen der Halteleinen sich nicht mehr vom Boden abzuheben vermag. Will man aufsteigen, so braucht man bloß eine genügende Menge Sand auszuwerfen. Das Sandgewicht stellt also das Mittel dar, um den Ballon lotrecht nach oben lenken zu können.

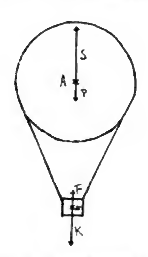


Fig. 10. Kräfteschema des Kugelballons.

S P Gewichtsdruck der Hülle samt Ausrüstung, G Gasauftrieb beide in A angreifend, F aerostatischer Auftrieb der Gondel (praktisch zu vernachlässigen), K Gewichtsdruck der Gondel. Auftreibende Kräfte $S + F = A$, abtreibende Kräfte $P + K = G$. Solange $A < G$ ist, kann sich das ganze System nicht vom Boden abheben, für $A = G$ wird es gewichtslos und, wenn $A > G$ ist, steigt der Ballon auf.

Die Lenkung lotrecht nach unten kann dadurch erfolgen, daß man durch eine Klappe am Ballon Füllgas entweichen läßt. Für jedes Kubikmeter des ausgelassenen Gases nimmt der Auftrieb bei Wasserstoffüllung um mehr als ein Kilogramm ab. Durch genügend langes Offenhalten der Ventilklappen kann man deshalb erreichen, daß der Auftrieb des Ballons kleiner wird als das Gesamtgewicht des Ballons samt Ausrüstung. Sowie dies der Fall wird, muß der Ballon eine absteigende Bewegung annehmen, er muß niedersinken. Verfügt der Luftschiffer noch über hinreichenden Ballast, das ist Sand oder andere Gegenstände, die er über Bord werfen kann, so ist er imstande,

Digitized by Google

die Abwärtsbewegung des Ballons jederzeit zu bremsen, ja diese kann bei genügendem Ballastabwurf sogar wieder in eine aufsteigende Bewegung umgewandelt werden. Die Steuerung des Ballons im lotrechten Sinne kann demnach ohne prinzipielle Schwierigkeit durch Ballastabwurf, bzw. Öffnen der Ventilklappen erfolgen.

Der lenkbare Ballon oder Motorballon. Soll ein Ballon befähigt werden, seine Flugrichtung, unabhängig von der gerade herrschenden Windströmung, zu wählen, so muß er mit einem sogenannten Propeller ausgerüstet werden. Wir bezeichnen damit jede Vorrichtung, die gestattet, einen Druck gegen die Luft auszuüben. Als Propeller für Motorballons verwendet man gewöhnlich Luftschrauben, die ähnlich wie die zur Fortbewegung von Schiffen dienenden Wasserschrauben konstruiert sind.

Die Wirkung jedes Propellers besteht darin, daß sie Luftmassen in Bewegung versetzen, daß sie also einen künstlichen Windstrom erzeugen. Da die Luft ein bestimmtes Gewicht besitzt, erfordert die Bewegung von Luftmassen auch den Aufwand einer gewissen

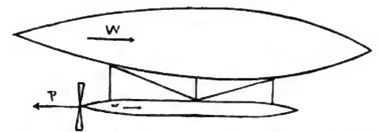


Fig. 11. Kräfteschema eines Lenkballons.

W Rücktrieb des Tragkörpers, w Widerstand der Gondel samt Ausrüstung, P Propellervortrieb. Im Beharrungszustande, wenn der Ballon sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt, ist $W + w = P$.

mechanischen Arbeit. Der dauernde Antrieb eines Propellers kann deshalb nur durch die fortdauernde Leistung einer bestimmten Arbeit erzielt werden. Diese Translations- oder Vortriebsarbeit kann bei einem in der Luft schwebenden Freiballon, der mit der Erdoberfläche in keinerlei Verbindung steht, nur durch einen in der Ballongondel hochgenommenen Motor geleistet werden. Der Inhalt des Ballons muß natürlich so groß gewählt werden, daß er Motor und Propeller samt Ausrüstung zu tragen vermag. Außerdem soll auch noch eine genügend große Ballastmenge mitgenommen werden können. Jede Vergrößerung des Balloninhaltes bedingt indes gleichzeitig eine Vermehrung des Winddruckes gegen die Stirnseite des Flugschiffes. Zur Überwindung dieses vergrößerten Winddruckes ist wieder ein stärkerer Propellerantrieb erforderlich. Die Vergrößerung des Propellerantriebes bedingt endlich die Mitnahme eines kräftigeren und deshalb im allgemeinen auch schwereren Motors.

Jede Erhöhung der Motorkraft, ohne Änderung des Gewichtes, ermöglicht die Verstärkung des Propellerantriebes und von der Größe des Propellervortriebes hängt, unter sonst gleichen Umständen, unmittelbar die erreichbare maximale Eigengeschwindigkeit des Flugschiffes ab. Diese soll aber möglichst groß sein, damit der Ballon

Digitized by Google

imstande sei, auch gegen schärfere Luftströmungen anzufahren. Wir ersehen daraus schon, daß beim Problem der Lenkbarmachung des Ballons die Motorfrage eine sehr wichtige Rolle spielt. Die Entwicklung des Motorballons geht in der Tat Hand in Hand mit der Erfindung möglichst leichter und kräftiger Motore.

Die ballonfreie Flugmaschine. Der lenkbare Ballon hat keine Schwebearbeit, wohl aber Translations- oder Vortriebsarbeit zu leisten. Diese ist so erheblich, daß es auch bei der Verwendung der kräftigsten und leichtesten Motore bisher nicht gelungen ist, die maximale Eigengeschwindigkeit der Motorballons über 50 Kilometer pro Stunde zu steigern. Genau das umgekehrte Verhalten finden wir bei der ballonfreien Flugmaschine. Bei dieser ist die Translationsarbeit wegen des verhältnismäßig geringen Volumens des Flugkörpers nicht erheblich, dagegen wird die Schwebearbeit wegen des Wegfalles des Ballonauftriebes außerordentlich groß.

Flugkörper, die ohne Zuhilfenahme eines Ballons aus eigener Kraft sich in die Luft erheben und längere Zeit, unabhängig vom Winde, zu fliegen vermögen, wollen wir allgemein als Voleren bezeichnen. Eine Volere muß sich den zur Erzielung des dauernden Schwebezustandes erforderlichen Auftrieb auf aerodynamischem Wege verschaffen. Jede Vorrichtung, deren Zweck die Beschaffung eines aerodynamischen Auftriebes ist, wollen wir allgemein einen Sustensor nennen. Alle Sustensoren liefern dadurch aerodynamische Auftriebskräfte, daß sie mittels geeigneter Vorrichtungen Luftmassen in Bewegung setzen, sie nach unten schleudern. Die bewegten Luftmengen setzen zufolge ihrer Masse der bewegenden Kraft einen Gegendruck, einen Widerstand entgegen, den wir allgemein als Luftwiderstand bezeichnen. Der Gegendruck der vom Sustensor lotrecht nach unten in Bewegung gesetzten Luftmassen wirkt dem Gewichtsdruck des Flugkörpers entgegen. Dieser stemmt sich durch Vermittlung seines Sustensors gleichsam gegen die unter ihm befindliche Luftsäule, wodurch sein Gewichtsdruck eine unsichtbare Stütze findet, auf der er sich, ohne zu sinken, in Schwebe zu halten vermag. Man nennt den Gegendruck bewegter Luftmassen gewöhnlich Reaktionsdruck. Er hat beim aerodynamischen Schwebeproblem eine analoge Aufgabe, wie der Auftrieb der Luft beim aerostatischen Schwebeproblem.

Solange der Reaktionsdruck der bewegten Luft kleiner bleibt als der Gewichtsdruck des Flugkörpers, wird dessen Druck gegen die Unterlage wohl um den Betrag des Reaktionsdruckes vermindert werden, allein der Flugkörper ist noch nicht imstande, sich vom Boden abzuheben. Sowie der Reaktionsdruck gleich geworden ist dem Gewichtsdrucke des Flugkörpers, hält er diesem das Gleichgewicht. Der Flugkörper übt deshalb gegen seine Unterlage keinen Druck mehr aus. Eine geringe Vergrößerung des Reaktionsdruckes befähigt den Flugkörper, sich vom Boden abzuheben und aufzusteigen. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Flugkörper aufsteigt, hängt natürlich ab vom Überschusse des Reaktionsdruckes über den Gewichtsdruck des Flugkörpers. Der horizontale Vortrieb des Flugkörpers kann, ähnlich wie beim Motorballon, durch Luftschrauben oder irgendeinen anderen Propeller erzielt werden.

Digitized by Google

Als Sustensoren, die nach dem Prinzip des Reaktionsdruckes arbeiten, kamen bisher in Anwendung: Schwingensustensoren nach Art der auf- und niederschlagenden Vogelflügel und Schraubensustensoren, die sogenannten Hub- oder Tragschrauben. Es sind dies Luftschrauben, die im Gegensatze zu den schon besprochenen Propellerschrauben nicht um eine horizontale, sondern um eine vertikale Achse rotieren, sonst aber ähnlich wie diese konstruiert sind.

Flugkörper, die mit Schwingensustensoren versehen sind, nennt man Schwingen- oder Flügelflieger. Flugkörper mit Schraubensustensoren heißen Schraubenflieger. Eine 3. Type von aerodynamischen Fliegern sind die Radflieger. Den Sustensor bildet bei ihnen ein Rad, das mit schaufelförmigen Flächen versehen ist nach Art der Schaufelräder der Raddampfer. Liegt die Rotationsachse des Rades senkrecht zur Flugrichtung, so haben wir einen gewöhnlichen Radflieger vor uns; wenn die Rotationsachse parallel zur Flugrichtung liegt, nennen wir den Flugkörper einen Segelradflieger. Alle bisher genannten Fliegertypen haben das gemeinsame Merkmal, daß sie sich von der Erdoberfläche aus senkrecht erheben können, ohne erst einen Anlauf nehmen zu müssen oder sonst irgendwelche besondere Vorbereitungen zum Aufflug treffen zu müssen. Es genügt, den Sustensor in Gang zu setzen. Sowie dieser einen Auftrieb erzeugt, der größer ist als der Gewichtsdruck des ganzen Flugkörpers, muß der Apparat sich vom Boden abheben und lotrecht aufsteigen. Voleren dieser Type sollen als Orthovoleren bezeichnet werden.

Es gibt noch eine zweite Reihe von Typen von ballonfreien Flugmaschinen. Diese besitzen alle das gemeinsame Merkmal, daß sie nicht imstande sind, lotrecht vom Ruhezustande aus aufzusteigen; sie müssen sich immer erst eine gewisse horizontale Geschwindigkeit verschaffen oder einen „Anlauf" nehmen, ehe der Abhub von der Unterlage erfolgt. Voleren dieser Type sollen als Klinovoleren bezeichnet werden.

Das bekannteste System einer Klinovolere stellen die Drachenflieger dar. Diese bestehen im Wesen aus vogelflügelartigen Flächen, die keine Bewegung in bezug auf den Flugkörper besitzen und so gelagert sind, daß ihre vordere Kante ein wenig höher liegt als die rückwärtige. Werden derartige Flächen, die wir allgemein als Drachenflächen bezeichnen wollen, durch irgendeine Antriebskraft in der Luft horizontal, u. zw. nach der Richtung ihrer Vorderkante, in rasche Translationsbewegung versetzt, so stößt die Luft, die sich unter der schräg gestellten Fläche befindet, gegen diese an und übt dabei einen Druck gegen die Fläche aus. Die Richtung dieses Druckes steht im allgemeinen senkrecht auf der Ebene der Fläche. Die lotrechte Seitenkraft des Druckes wirkt deshalb dem Gewichtsdrucke des Flugkörpers entgegen und hebt ihn zum Teil auf; er übt also die Wirkung eines Auftriebes. Je rascher die Fläche durch die Luft vorwärts geschoben wird, um so größer wird unter sonst gleichen Umständen auch der Gegendruck der Luft und somit auch der Auftrieb. Bei einer gewissen Geschwindigkeit wird schließlich der Auftrieb so groß werden, daß er gleich ist dem Gewichtsdrucke des ganzen Flugkörpers. Dieser übt nun gegen seine Unterlage keinen Druck mehr aus. Bei

Digitized by Google

einer weiteren Zunahme der Geschwindigkeit wird der Auftrieb größer als der Gewichtsdruck des Flugkörpers; dieser muß sich folglich vom Boden abheben und wird in schwach geneigter Bahn schräg aufsteigen. Die Geschwindigkeit, bei welcher der Auftrieb gleich dem Gewichtsdrucke des Flugkörpers wird, bezeichnen wir als Schwebegeschwindigkeit. Ein Drachenflieger muß demnach mit der Schwebegeschwindigkeit sich durch die Luft bewegen. Ein Anhalten oder Stehenbleiben in der Luft ist bei ihm nicht möglich, weil ja, wie wir gesehen haben, sein Auftrieb an die Vorwärtsbewegung gebunden ist.

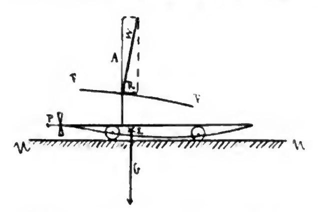


Fig. 12. Schema eines Drachenfliegers.

Luftwiderstand W gegen die Drachenfläche FF kann in die lotrechte Komponente (Auftrieb) A und die horizontale Komponente (Rücktrieb) R zerlegt werden. P Propellervortrieb, G Gewichtsdruck des ganzen Systems, angreifend im Schwerpunkte Σ. Durch den aerodynamischen Auftrieb A wird der Raddruck des Apparates von G auf $G - A$ verringert. Sowie $G = A$, also $G - A = 0$ geworden ist, verschwindet der Raddruck gegen die Unterlage UU, der Apparat schwebt frei in der Luft und bewegt sich mit einer von seinem Bau abhängigen Schwebegeschwindigkeit V_k. Infolge des Rücktriebes der Drachenfläche und des Rumpfes würde die Fluggeschwindigkeit kontinuierlich abnehmen. Wird der Propellervortrieb P gleich der Summe der Rücktriebe, so bleibt die Fluggeschwindigkeit konstant. Der aerodynamische Auftrieb ist beim Drachenflieger von der Fluggeschwindigkeit abhängig und verschwindet mit dieser.

Der Vortrieb des Drachenfliegers kann durch irgendeinen Propeller erzielt werden, ganz analog wie beim Motorballon. Man verwendet zum Antrieb gewöhnlich Luftschrauben, die um eine horizontale, parallel zur Flugrichtung liegende Achse rotieren. Der Antrieb des Propellers erfordert natürlich wieder die Leistung einer bestimmten Motorarbeit.

Bei der raschen Vorwärtsbewegung übt die Luft auf den Flugkörper einen Gegendruck aus. Soll die Geschwindigkeit des Drachenfliegers konstant bleiben, so muß durch den Propeller ein Vortrieb erzeugt werden, der dem Luftwiderstande gegen den Rumpf (Gondel) des Flugkörpers das Gleichgewicht hält. Die Erzeugung dieses Vortriebes erfordert die Leistung einer bestimmten Motorarbeit, die wir wieder als Vortriebs- oder Translationsarbeit bezeichnen. Auch gegen die schräg gestellten Drachenflächen übt die Luft bei der raschen Vorwärtsbewegung einen Gegendruck aus. Wir haben schon gesehen, daß die lotrechte Seitenkraft dieses Druckes den aerodynamischen Auftrieb des Flugkörpers erzeugt. Die horizontale Seitenkraft des Gegendruckes der Luft auf die Drachenflächen wirkt Geschwindig-

Digitized by Google

keitsverzögernd. Soll der Drachenflieger mit konstanter Geschwindigkeit sich vorwärts bewegen, so muß durch den Propeller ein Vortrieb erzeugt werden, der dem horizontalen Gegendruck der Drachenfläche, dem Rücktrieb, das Gleichgewicht hält. Der Propellervortrieb muß also um den Betrag des Rücktriebes der Drachenfläche größer sein, als er ohne Vorhandensein der Drachenfläche zu sein brauchte. Man erkennt, daß die Anbringung der Drachenflächen an den Flugkörper auch die Leistung einer besonderen Propellerarbeit bedingt. Man erhält also den Auftrieb der Drachenfläche nicht etwa wie beim Ballon ohne den Aufwand einer speziellen Motorarbeit, sondern es ist zur Erzielung des Schwebezustandes auch eine ganz bestimmte Schwebearbeit zu leisten. Auch beim Drachenflieger spielt deshalb wie bei allen Voleren die Motorfrage eine wichtige Rolle.

Beim Motorballon ist, wie wir gesehen haben, nur Translations-, aber keine Schwebearbeit zu leisten. Die Flugfähigkeit der Voleren ist dagegen an die Leistung von Translations- und Schwebearbeit gebunden. Wenn die erforderliche Motorarbeit zur Verfügung steht, können Ortho- und Klinovoleren flugfähig gemacht werden.

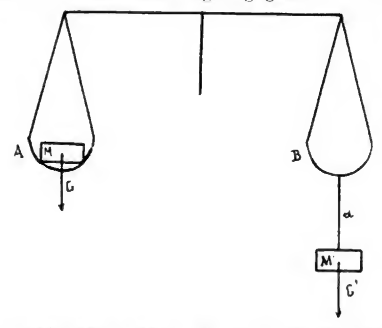


Fig. 13. Kräftemessung durch Zug oder Druck von Gewichten.

In der Wagschale A Gewichtsstück M; an die Wagschale B gleich großes Gewichtsstück aus demselben Stoffe mittels des sehr dünnen Fadens d befestigt. Wagebalken stellt sich horizontal ein. Gewichtsstück M' übt einen Zug G' auf die Wagschale B aus. Gewichtsstück M einen Druck G auf Schale A. Druck und Zug halten sich erfahrungsgemäß das Gleichgewicht.

Die Sinkbewegung im luftleeren Raume, Energietransformation. Bei jeder Bewegung im lufterfüllten Raume wirkt bekanntlich die in der Bewegungsbahn befindliche Luft als Bremse oder Puffer, wodurch die Bewegung verzögert wird. Die bewegungsverzögernde Kraft der Luft sinkt mit abnehmender Dichte der Atmosphäre und würde in einem luftleeren Raume ganz verschwinden. Es bietet bekanntlich keine Schwierigkeit, mittels einer Luftpumpe einen nahezu luftleeren Raum herzustellen.

Digitized by Google

Denkt man sich den Rezipienten der Luftpumpe immer größer werdend, so gelingt es auch unschwer, die Fiktion eines beliebig großen luftfreien Raumes zu bilden. Die Einsicht in das Wesen des ballonfreien Fluges und das Verständnis der Bedingungen, an welche dessen praktische Realisierung geknüpft ist, wird wesentlich gefördert, wenn man von dem Vorhandensein der Luft zunächst absieht und die Vorgänge beim Fall und der Bewegung eines Körpers in einem möglichst luftfreien Raume begrifflich abzubilden sucht.

Den Druck, den ein fester Körper auf seine Unterlage ausübt, bezeichnen wir bekanntlich als das Gewicht des Körpers. Zwei gleich große Gewichte aus demselben Stoffe, von denen das eine in die linke Schale einer einspielenden Wage gelegt wird, während man das zweite mittels eines dünnen Fadens an die zweite Schale hängt, bringen keine Änderung in der Zeigerstellung hervor. Der Druck des einen Gewichtes ist gleich dem Zuge des zweiten gleich großen Gewichtsstückes. Druck und Zug halten einander das Gleichgewicht. Der Druck, den ein Körper auf seine Unterlage ausübt, kann also durch einen gleich großen, nach entgegengesetzter Seite gerichteten Zug aufgehoben werden.

Entzieht man einem Körper die Stütze, so gerät er in Bewegung, er fällt. Die durchfallene Strecke wächst im quadratischen Verhältnis mit der Falldauer; sie ist am Ende der ersten Sekunde rund fünf Meter, am Ende der zweiten Sekunde viermal so groß, also 20 Meter usf. Je länger der Fall dauert, um so rascher fällt der Körper. Die Fallgeschwindigkeit wächst im gleichen Maße wie die Fallzeit.

Jeder gehobene Körper besitzt bekanntlich eine bestimmte Energie der Lage, er kann, wenn man ihn unter Zuhilfenahme gewisser Vorrichtungen zwingt, langsamer auf sein früheres Niveau zurückzusinken, als dies bei völlig freiem Fall geschehen würde, mechanische Arbeit leisten, das ist einen Widerstand auf einem bestimmten Wege überwinden. Beim freien Fall nimmt die Energie der Lage im selben Maße ab, als die durchfallene Höhe wächst. An ihrer Stelle erscheint ein gleicher Betrag von Bewegungsenergie, die bekanntlich nach dem Quadrate der Geschwindigkeit gemessen wird. Beim freien Fall im luftleeren Raum erfolgt diese Umsetzung von Energie der Lage in Energie der Bewegung restlos. Am Fuße der Fallstrecke erscheint die gesamte, im gehobenen Körper früher vorhanden gewesene Energie der Lage wieder in der Form von Energie der Bewegung.

Könnte die in jedem kleinsten Zeitteilchen an Stelle der verschwindenden Energie der Lage in der Masse des fallenden Körpers auftretende Bewegungsenergie vollständig in irgendeine andere Energieform umgewandelt werden oder könnte man sie ganz aus der Masse des Körpers wegschaffen, so würde dieser nicht sinken können. Da die Fallhöhe in einem verschwindend kleinen Zeitteilchen nur verschwindend klein bleibt, würde auch die als Äquivalent für die verschwindende Energie der Lage auftretende Bewegungsenergie ebenfalls nur einen verschwindend kleinen Betrag erreichen können.

Sinkbewegung und Energietransformation im lufterfüllten Raume. Im luftfreien Raume läßt sich die eben aufgestellte Bedingung für die Erzielung eines Schwebens in gleichbleibender Höhe nicht

Digitized by Google

erfüllen, denn wir kennen derzeit kein Mittel, die Bewegungsenergie eines frei sinkenden Körpers in eine andere Energieform zu verwandeln. Anders steht die Sache beim Fall im lufterfüllten Raume.

Fällt ein Körper in der Luft, so geht selbsttätig ununterbrochen ein Teil der Bewegungsenergie der sinkenden Masse auf die in der Fallbahn befindlichen Luftteilchen über. Es wird deshalb die nach der gleichen Fallstrecke in der Masse des Körpers angesammelte Bewegungsenergie kleiner sein als die entsprechende Abnahme an Energie der Lage. Der Rest ist an die Luft übergegangen. Die Luft wirkt also fallvermindernd. Je mehr der freie Fall gebremst verzögert wird, um so näher kommen wir dem angestrebten Ziele, nämlich dem dauernden Schweben in gleichbleibender Höhe. Man wird also zunächst darauf hinarbeiten müssen, die fallverzögernde Wirkung der Luft möglichst zu erhöhen.

Als einfachstes Mittel zur Erzielung einer ausgiebigen Bremswirkung dient die Vergrößerung der Unterfläche des sinkenden Körpers. Eine vollkommene Bremsung des Falles, ein Schweben in gleichbleibender Höhe, ist jedoch selbst bei der größtmöglichen Ausdehnung der Unterfläche eines Flugkörpers nicht zu erreichen. Außer von der Größe der Tragfläche ist nämlich die Bremswirkung der Luft noch abhängig von der Dichtigkeit der Atmosphäre und von der Fallgeschwindigkeit des Flugkörpers. Da die Dichtigkeit der Luft mehr als tausendmal kleiner ist als jene des leichtesten festen Körpers, kann auch die fallverzögernde Wirkung der Atmosphäre nur geringe Werte erreichen, selbst bei großer Ausdehnung der Unterfläche.

Der Fallschirm. Jeder ballonfreie Flug- und Schwebeapparat stellt im Prinzip nichts weiter als einen Fallschirm dar.

Im luftleeren Raume durchfällt jeder Körper, gleichgültig, welche Form und welches Gewicht derselbe besitzt, in der ersten Sekunde eine Höhe von rund fünf Meter. Im lufterfüllten Raume ist die Fallhöhe erfahrungsgemäß wesentlich abhängig von der Form des Körpers. Die unterhalb des fallenden Körpers befindliche Luft wirkt gewissermaßen als Bremse oder Puffer. Der fallende Körper muß nämlich die Luft aus seiner Fallbahn fortschaffen, wodurch ein Teil seiner Fallwucht aufgezehrt wird. Die Fallhöhe in der Luft muß deshalb unter allen Umständen kleiner sein als im luftleeren Raume, ganz gleichgültig, ob der Körper lotrecht oder in schräger Bahn zu Boden sinkt.

Bei dem symmetrischen, regen-

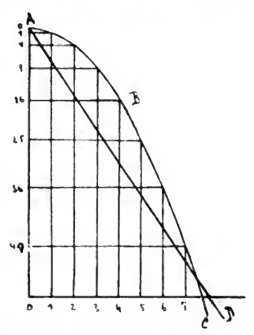


Fig. 14. Senkrechter Fall eines Körpers im luftleeren Raum.

Auf der horizontalen Achse die Zeiten, auf der vertikalen die Wege und Geschwindigkeiten aufgetragen. Geschwindigkeiten wachsen proportional der Fallzeit, repräsentiert durch gerade Linie *A D*. Fallzeiten proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit, repräsentiert durch Parabel *A B C*.

Digitized by Google

schirmartig geformten Fallschirm, welcher in früherer Zeit vielfach von den Berufsluftschiffern bei ihren Schaustellungen benützt wurde, war bloß ein lotrechtes Niedergleiten möglich.

Ein vogelflügelartig gebauter Fallschirm mit festem Vorder- und elastischem Hinterrande sinkt aber nicht lotrecht, sondern schräg zu Boden.

Soll die Fallbahn eines Flugkörpers möglichst wenig von der wagerechten Linie abweichen, so muß die fallvermindernde, bremsende Kraft der unterhalb der Flügel befindlichen Luft möglichst groß sein. Wird die gesamte, in irgendeinem beliebig kleinen Bruchteil einer Sekunde von der Schwerkraft erzeugte Fallwucht (kinetische Energie) auf die unterhalb der Flügel befindliche Luft übertragen, von dieser also sozusagen absorbiert, so sinkt der Körper unendlich langsam; die Fallhöhe ist nach irgendwelcher beliebig großen oder kleinen Falldauer verschwindend klein, die Fallbahn weicht unendlich wenig von der wagerechten Linie ab; der Flugkörper kann in diesem Falle beliebig lange in der Luft verweilen, ohne je den Boden zu erreichen. Aus dem Fallschirmapparat wird ein Flugapparat.

Die bremsende, fallvermindernde Kraft der Luft ist in erster Linie abhängig von dem Verhältnisse zwischen dem Apparatgewichte und der gesamten Unterfläche desselben, senkrecht zur Lotrichtung gemessen. Je größer die Unterfläche des Flugkörpers im Verhältnisse zu seinem Gewichte, um so geringer wird die Fallhöhe in der Luft im Vergleiche zu der in derselben Zeit im luftfreien Raume durchfallenen Höhe. Von dem Verhältnisse zwischen dem Gewichte und der Unterfläche, der sogenannten spezifischen Flächenbelastung, hängt auch die Wucht ab, mit welcher der Flugkörper, als Fallschirm benützt, auf dem Boden auftrifft.

Im luftleeren Raume ist die Fallwucht, mit welcher der lotrecht oder schräg niedersinkende Körper am Boden anlangt, außer von dem Gewichte des Körpers bloß noch von der durchfallenen Höhe abhängig. Die Fallwucht nimmt in demselben Maße zu wie die Fallhöhe. Im lufterfüllten Raum ist die Fallwucht außer vom Gewichte des Körpers und der Fallhöhe auch noch wesentlich abhängig von der spezifischen Flächenbelastung. Infolge der bremsenden, fallverzögernden Kraft der unterhalb des fallenden Körpers befindlichen Luft kann die Fallwucht beim Fall im lufterfüllten Raume nicht wie im luftleeren Raume jeden beliebig großen Wert erreichen, sondern es gibt für jeden Flugkörper einen durch das Gewicht und das Verhältnis des Gewichtes zur Unterfläche bestimmten größten Wert für die Fallwucht. Mit zunehmender Fallhöhe wächst nämlich beim Fall im lufterfüllten Raume die bremsende, fallvermindernde Kraft der unterhalb des fallenden Körpers befindlichen Luft sehr rasch und wird schließlich so groß, daß der gesamte Zuwachs an Fallwucht dazu verwendet wird, die unterhalb des fallenden Körpers befindliche Luft aus der Bewegungsbahn fortzuschaffen. Ist dieser Zustand, der schon nach sehr kurzer Falldauer und sehr geringer Fallhöhe nahezu erreicht wird, eingetreten, so kann die Fallwucht des fallenden Körpers nicht mehr zunehmen; diese ist dann von der Sinkhöhe, welche der Apparat noch zurücklegen kann, ehe er am Boden auftrifft, völlig unabhängig.

Digitized by Google

Würde z. B. ein Mensch von der Spitze des 139 Meter hohen Wiener Stephansturmes ohne Fallschirm herabspringen, so müßte sein Körper selbstverständlich beim Auftreffen am Boden zerschmettern. Läßt sich aber ein 70 Kilogramm schwerer Mann mit einem regenschirmartig geformten Fallschirm, der bei einem Gewichte von 15 Kilogramm eine Fläche von 30 Quadratmeter besitzt, aus gleicher Höhe herab, so entspricht der Anprall am Boden ungefähr einem Sprunge aus einer Höhe von ca. 1 Meter, kann also ohne jede Gefahr ausgeführt werden.

Wesentlich geringer als bei einem regenschirmartig geformten, lotrecht niedersinkenden Fallschirm ist die Fallwucht, mit welche der Flugkörper am Boden auftrifft, bei einem vogelflügelartig gebauten, in schräger Bahn niedergleitendem Fallschirm, dem Gleitapparat. Die bremsende, fallvermindernde Kraft der unterhalb der Flügel befindlichen Luft ist nämlich außer vom Gewichte, dem Verhältnisse des Gewichtes zur Fallschirmfläche und der Fallhöhe, noch wesentlich abhängig von der relativen Geschwindigkeit zwischen dem Flugkörper und der Luft. In horizontal strömender Luft sinkt ein Fallschirm erfahrungsgemäß bedeutend langsamer zu Boden, als in vollkommen ruhiger Luft. Bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit wird die Tragkraft der strömenden Luft so groß, daß der Flugkörper überhaupt nicht mehr zu Boden sinken kann. Aber auch in vollkommen ruhiger Luft läßt sich für jeden mit Tragflächen nach Art des Vogels oder der Fledermaus ausgerüsteten Flugapparat eine bestimmte Fluggeschwindigkeit angeben, bei welcher die bremsende, fallvermindernde Kraft der unterhalb der Flügel befindlichen Luft so groß wird, daß sie der lotrecht nach unten wirkenden Schwerkraft, welche durch das Gewicht des Körpers gemessen wird, das Gleichgewicht hält. Bewegt sich der Flugkörper mit dieser Geschwindigkeit, der Schwebegeschwindigkeit, horizontalvorwärts, so verhält sich die unterhalb der Flügel befindliche Luft genau so, wie der feste Straßenboden. Die Luft trägt den Apparat und hindert ihn am Niedersinken.

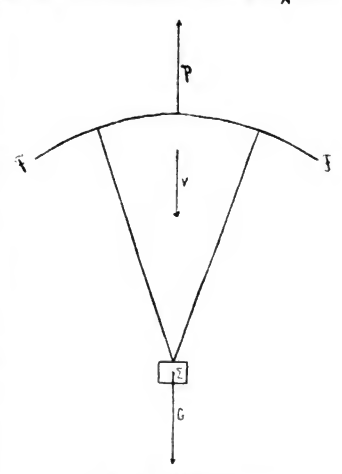


Fig. 15. Fallschirm.

Unter der gewichtlosen Fallschirmfläche *FF* Körper vom Gewichte *G* suspendiert. Fallschirm sinkt mit der gleichförmigen Geschwindigkeit *V*, wenn der Reaktionsdruck der Luft (Luftwiderstand) *P* gleich wird dem Gewichtsdrucke des Fallkörpers *G*.

Digitized by Google

Zwischen der Fortbewegung durch die Luft mittels eines ballonfreien Luftvehikels und der Fortbewegung über den festen Boden mittels Wagen oder Schlitten besteht nur insofern ein prinzipieller, durch die physikalischen Eigenschaften der Unterlage bedingter Unterschied, als die Straße den Wagen auch dann trägt, wenn dieser stillesteht, während die Luft dies nicht vermag; denn der Flugapparat beginnt sofort zu sinken, wenn die Fluggeschwindigkeit auch um ein geringes kleiner wird als die Schwebegeschwindigkeit. Der Wagen oder der Schlitten kann sich mit jeder beliebigen Geschwindigkeit bewegen, da die Tragkraft der Unterlage von der Bewegungsgeschwindigkeit ganz unabhängig ist; das Luftvehikel muß sich mit der Schwebegeschwindigkeit durch die Luft bewegen, falls ein dauerndes Schweben in gleichbleibender Höhe möglich sein soll. Ist der Motor nicht imstande, den Apparat mit der Schwebegeschwindigkeit vorwärts zu treiben, so kann sich derselbe nicht vom Boden abheben und wird, falls der Abflug von einem erhöhten Orte aus stattfindet, nach längerer oder kürzerer Zeit wieder den Boden erreichen; ein dauernder Schwebeflug in gleichbleibender Höhe ist in diesem Falle also unmöglich.

Fig. 16. Gleitapparat.

Reaktionsdruck der Luft (Luftwiderstand) W der Gleitschirmfläche $F\,F$ bildet mit der Lotlinie den Winkel δ. Infolge der horizontalen Widerstandskomponente nimmt das System eine horizontale Geschwindigkeit V_x an, die sich mit der lotrechten Sinkgeschwindigkeit V_y zur resultierenden Geschwindigkeit V zusammensetzt. Apparat sinkt unter dem Gleitwinkel ε; Fall wird gleichförmig, wenn die lotrechte Komponente des Luftwiderstandes A gleich geworden ist dem Gewichtsdrucke des Systems G.

Die Notwendigkeit und Schwierigkeit der Erreichung und dauernden Erhaltung der zum Flug in wagerechter Richtung nötigen Schwebegeschwindigkeit bildet einen der Hauptgründe, weshalb auf dem Gebiete der aerodynamischen Luftschiffahrt so lange kein Erfolg erzielt werden konnte.

Der gebremste Fall und der Gleitfall. Man gewinnt einen klaren Einblick in das Wesen des ballonfreien Fluges und der Bedingungen, an welche dessen praktische Verwirklichung notwendig geknüpft ist, wenn man zunächst die Erscheinungen des lotrechten Falles und schrägen Gleitfalles in der Luft qualitativ und quantitativ beschreibt, dann die Bedingungen untersucht,

Digitized by Google

welche erfüllt werden müssen, um den lotrechten Fall und den schrägen Gleitfall eines Körpers in der Luft möglichst zu bremsen oder zu verzögern. Je mehr der Fall gebremst wird, um so flacher wird die Gleitbahn des schrägen Gleitfluges und nähert sich schließlich bei völliger Bremsung des Falles der Wagerechten, womit der schräg nach abwärts führende Gleitflug, welcher bloß eine Fortbewegung durch die Luft von zeitlich und räumlich eng begrenzter Dauer gestattet, schließlich in jene Bewegungsart übergeht, welche man schlechthin als „Fliegen“ bezeichnet.

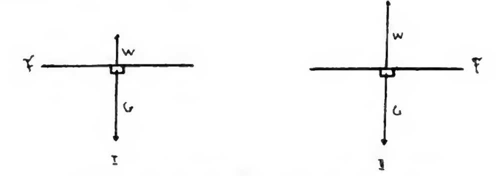


Fig. 17. Senkrechter Fall im lufterfüllten Raume.

Zentrisch symmetrische Fläche F horizontal gelagert und im Mittelpunkte belastet. Luftwiderstand W normal zur Flächenebene wirkt seinem ganzen Betrage nach dem Gewichtsdrucke G entgegen und vermindert die Fallbeschleunigung. Diese verschwindet, sowie $W = G$ wird. Körper fällt von da ab mit gleichförmiger Geschwindigkeit.

Bei jeder Bewegung im lufterfüllten Raume wirkt die in der Bewegungsbahn befindliche Luft als Bremse oder Puffer, wodurch die Bewegung verzögert wird. Der Bremsdruck der Luft oder der Luftwiderstand ist quantitativ bestimmt durch den augenblicklichen physikalischen Zustand der Atmosphäre (Temperatur, Luftdruck) und die Beschleunigung der Schwere; ferner wächst der Luftwiderstand erfahrungsgemäß in gleichem Verhältnis mit dem größten Querschnitt des bewegten Körpers senkrecht zur Bewegungsrichtung und für die praktisch in Betracht kommenden Geschwindigkeiten in quadratischem Verhältnis mit der relativen Geschwindigkeit. Weiter hängt der Luftwiderstand ab von der Form und der Anordnung der einzelnen Teile des betrachteten Körpers.

Beim lotrechten Fall tritt der Luftwiderstand als fallverzögernde, bremsende Kraft auf, die der lotrecht nach unten wirkenden Schwerkraft direkt entgegenwirkt und deshalb eine scheinbare Gewichtsverminderung erzeugt.

Im luftleer gedachten Raume würde jeder Körper, den man vom Ruhezustande aus frei fallen läßt, lotrecht niedersinken. Beim Fall im lufterfüllten Raume kann ein lotrechtes Niedersinken nur dann erfolgen, wenn die Richtung der Bremskraft der Luft konstant bleibt und dauernd mit der Lotlinie zusammenfällt. Die Richtung der Bremskraft der Luft ist nun erfahrungsgemäß abhängig von der Form und dem Bau der Unterfläche des Flugkörpers, sowie von der Neigung der einzelnen Flächenelemente der gesamten Unterfläche gegen die Wagerechte.

Ist die Bremskraft der Luft nicht lotrecht nach oben gerichtet,

Digitized by Google

sondern schließt sie mit der Lotlinie einen Winkel ein, so erhält man stets eine lotrechte und eine wagerechte Komponente des Bremsdruckes. Die lotrechte Komponente des Luftwiderstandes, der Auftrieb, vermindert das scheinbare Gewicht des Flugkörpers, bewirkt also eine Bremsung oder Verzögerung des Falles; die wagerechte Komponente des Luftwiderstandes, der sogenannte Vortrieb, beziehungsweise Rücktrieb, je nachdem sie gleich oder entgegengerichtet ist der Bewegungsrichtung, erteilt der Masse des Flugkörpers eine Beschleunigung, beziehungsweise Verzögerung in der Bewegungsrichtung. Der Flugkörper kann somit nicht lotrecht niedersinken, sondern muß in mehr oder minder schräger Bahn zu Boden gleiten. Der lotrechte Fall wird also durch die wagerechte Komponente des Bremsdruckes der Luft in einen schrägen Gleitfall verwandelt.

Soll der Gleitwinkel eines in der Luft sinkenden Körpers kleiner werden als der Gleitwinkel des Beharrungszustandes, so muß zu dem Vortrieb der Tragfläche, welcher immer bei der Sinkbewegung auftritt, falls die Mittelkraft des Bremsdruckes der Luft nicht mit der Lotlinie zusammenfällt, noch ein künstlicher Vortrieb treten. Jede Vorrichtung, welche gestattet, einen derartigen künstlichen, d. i. von der Sinkbewegung des Flugkörpers unabhängigen Vortrieb zu erzeugen, wird allgemein Propulsor genannt.

Typen von ballonfreien Flugmaschinen. Besitzt die gesamte Unterfläche eines ballonfreien Flugkörpers, die sogenannte Tragfläche, keinerlei relative Bewegung in bezug auf den Schwerpunkt des ganzen Apparates, so stellt derselbe allgemein eine *Gleitmaschine* dar; diese geht in den typischen *Drachenflieger* über, wenn sie mit Motor und Propeller ausgerüstet ist.

Führt die gesamte Tragfläche eines ballonfreien Flugkörpers eine auf- und niederschwingende Bewegung in bezug auf den Schwerpunkt des ganzen Apparates aus, so stellt dieser einen typischen Flügel- oder *Schwingenflieger* dar. Im Prinzip ist also der Flügelflieger eine mechanische Kopie der natürlichen Flieger (Vögel, Fledermäuse, Insekten). Beim typischen Flügelflieger erzeugen die auf- und niederschwingenden Flügel sowohl den erforderlichen lotrechten Auftrieb, wie auch den nötigen wagerechten Vortrieb. Die Flügel erfüllen also gleichzeitig die Funktion der Tragfläche *und* des Propellers des Drachenfliegers. Die Erreichung und dauernde Erhaltung des horizontalen Fluges ist beim Flügelflieger deshalb auch nicht wie beim Drachenflieger notwendig an eine ganz bestimmte, durch die Konstruktion und die Dimensionierung des Apparates bedingte Fluggeschwindigkeit geknüpft, sondern von dieser ganz unabhängig. Die horizontale Fluggeschwindigkeit kann auch gleich Null werden, ohne daß der Schwebezustand dadurch beeinträchtigt würde. Ein Flügelflieger kann also, vorausgesetzt natürlich, daß der Motor imstande ist, die zum dauernden Antrieb der Flügelpropeller erforderliche Arbeit zu leisten, auch ohne horizontale Vorwärtsbewegung sich in gleichbleibender Höhe in der Luft in Schwebe erhalten, was beim Drachenflieger nicht möglich ist. Der Flug in der Wagerechten ist beim Flügelflieger nicht an eine bestimmte Fluggeschwindigkeit geknüpft, wohl aber an eine ganz bestimmte Bewegungsgeschwindigkeit der Flügel.

Digitized by Google

Wirkt der Propeller eines typischen Drachenfliegers nicht bloß horizontal vortreibend, sondern erzeugt derselbe auch einen bestimmten, lotrechten Auftrieb, so wird das scheinbare Gewicht des Flugkörpers um den Betrag des Propellerauftriebes kleiner werden. Der lotrecht nach oben gerichtete Auftrieb wirkt nämlich der Schwerkraft direkt entgegen und verringert somit das scheinbare Gewicht des Flugkörpers. Es muß deshalb die „kritische" Fluggeschwindigkeit, welche zur Erreichung und dauernden Erhaltung eines Fluges in gleichbleibender

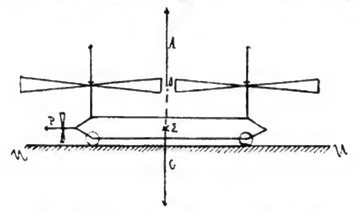


Fig. 18. Schema eines Schraubenfliegers.

Zwei Luftschrauben mit lotrechter Achse (Hubschrauben) rotieren in entgegengesetzter Richtung und geben einen aerodynamischen Auftrieb, dessen Mittelkraft A im Punkt Δ angreift und dem Gewichtsdruck G im Schwerpunkte Σ entgegenwirkt. Sowie $A = G$ wird, verschwindet der Raddruck gegen die Unterlage UU und der Apparat erhält sich freischwebend in der Luft. Durch eine Schraube mit horizontaler Achse (Propulsionsschraube) erhält das System einen horizontalen Antrieb P, der ihm eine gewisse Translationsgeschwindigkeit erteilt. Beim Schraubenflieger ist der Auftrieb von der Translationsgeschwindigkeit unabhängig.

Höhe notwendig ist, kleiner werden; denn die kritische Fluggeschwindigkeit oder Schwebegeschwindigkeit ist wesentlich abhängig vom scheinbaren Gewichte des Flugkörpers und wird mit abnehmendem scheinbaren Gewichte auch sehr rasch kleiner. Mit abnehmender kritischer Fluggeschwindigkeit sinkt gleichzeitig aber auch der erforderliche horizontale Propellervortrieb, welcher nötig ist, um dem Rücktrieb der Tragfläche und des Rumpfes dauernd das Gleichgewicht zu halten. Da nun sowohl der Bremsdruck des Rumpfes als auch jener der Tragfläche mit abnehmender Geschwindigkeit sehr rasch kleiner werden, muß auch der gesamte Rücktrieb und somit auch der diesem stets gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Propellervortrieb mit abnehmender kritischer Fluggeschwindigkeit sehr rasch sinken. Denkt man sich den Auftrieb des Propellers stets größer und größer werdend, so wird das scheinbare Gewicht des Flugkörpers stetig kleiner und kleiner und nähert sich schließlich dem Werte Null. Gleichzeitig muß aber auch die kritische Fluggeschwindigkeit den Grenzwert Null erreichen; denn ein Flugkörper, dessen scheinbares Gewicht gleich Null ist, bedarf ja überhaupt keines weiteren Auftriebes mehr, um sich dauernd in gleichbleibender Höhe zu erhalten. Ein spezieller Tragflächenauftrieb, wie beim typischen Drachenflieger, ist also in diesem Falle nicht mehr nötig. Die Tragfläche erfüllt somit bloß die Funktion eines Sicherheitsfallschirmes, der beim etwaigen Versagen des

Digitized by Google

Motors oder des Propellers ein gefahrloses schräges Niedergleiten gestattet. Verzichtet man auf dieses Sicherheitsmittel, so kann die Tragfläche ohne Beeinträchtigung des Schwebezustandes auch ganz weggelassen werden. Geschieht dies, so stellt der Apparat eine typische, ballonfreie Schwebemaschine dar. Die Schwebemaschinen sind also dadurch charakterisiert, daß bei denselben der Zustand des Schwebens in gleichbleibender Höhe nicht, wie bei den eigentlichen Flugmaschinen, an die Erreichung und dauernde Erhaltung einer bestimmten Geschwindigkeit, der Schwebegeschwindigkeit, geknüpft ist, sondern der Schwebezustand ist von der horizontalen Fortbewegung des Apparates ganz unabhängig.

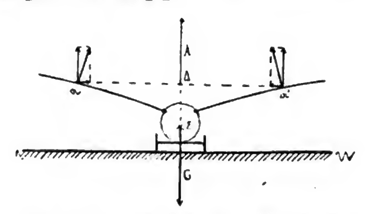


Fig. 19. Schema eines Schwingenfliegers.

Die Reaktionsdrucke der Luft gegen die niederschwingenden Flügel mit den Angriffspunkten a, a' lassen sich in eine lotrechte und eine wagerechte Komponente zerlegen. Die Summe der lotrechten Komponenten gibt den Auftrieb A, der im Druckmittelpunkte Δ angreift und dem Gewichtsdrucke G des Fliegers mit dem Angriffspunkte im Schwerpunkte Σ entgegenwirkt. Sowie $A = G$ geworden ist, verschwindet der Raddruck gegen die Unterlage und für $A > G$ hebt sich der Schwingenflieger von der Unterlage ab und steigt auf. Der Vortrieb des Apparates wird durch die horizontalen Komponenten des Luftwiderstandes in der Translationsrichtung erzeugt. Die schwingenden Flügel wirken also gleichzeitig als Auf- und Vortriebs erzeugende Organe. Auftrieb und Vortrieb sind voneinander nicht unabhängig wie beim Schraubenflieger.

Nach der Art der Erzeugung des Auftriebes kann man die Schwebemaschinen einteilen in Reaktions-, Ventilator-, Rad- und Schraubenschweber. Durch Ausrüstung mit einem Propeller, der den nötigen horizontalen Vortrieb erzeugt, wird die Schwebemaschine zur vollwertigen ballonfreien Flugmaschine. Nach der Art des Sustensors unterscheidet man also: Reaktions-, Ventilator-, Rad- und Schraubenflieger.

Schwebearbeit. Der dauernde Antrieb des Sustensors, d. i. der Vorrichtung, welche den Auftrieb einer Schwebemaschine, sowie überhaupt jeder Volere erzeugt, erfordert natürlich die Leistung einer bestimmten Arbeit, der sogenannten Schwebearbeit. Der numerische Wert, den die Schwebearbeit für eine bestimmte, konkrete Konstruktion besitzt, ist außer von der Dimensionierung des Apparates noch wesentlich abhängig von der spezifischen Konstruktionsart des Sustensors, der den nötigen Auftrieb erzeugt.

Physikalisch ist die Schwebearbeit für einen Flugkörper von beliebig großem Gewichte nicht an einen bestimmten Minimalwert gebunden,

Digitized by Google

den sie etwa notwendig erreichen müßte, und zwar, ganz unabhängig von der spezifischen Konstruktionsart des Apparates, falls ein dauerndes Schweben in gleichbleibender Höhe möglich sein soll. Physikalisch kann die Schwebearbeit, welche nötig ist, um einen Flugkörper von beliebigem Gewichte in gleichbleibender Höhe dauernd in Schwebe zu erhalten, sich dem Grenzwerte Null beliebig nähern; dies erhellt daraus, daß der Zustand des Schwebens an die Erzeugung einer bestimmten Kraft — des Auftriebes, gleich dem scheinbaren Gewichte des Flugkörpers — geknüpft ist, nicht aber an die Transformation einer bestimmten Energiemenge oder an die Leistung einer bestimmten Arbeit in gegebener Zeit. In diesem Satze liegt der Beweis für die physikalische Möglichkeit des ballonfreien Schwebe- und Horizontalfluges für Flugkörper von beliebig großem Gewichte.

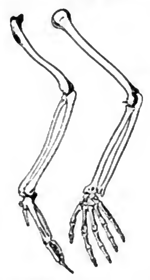


Fig. 20. Skelett eines Vogelflügels und eines menschlichen Vorderarmes in gleicher Größe gezeichnet zur Veranschaulichung der überraschenden anatomischen Ähnlichkeit zwischen beiden.

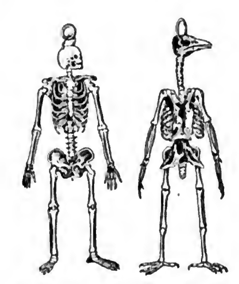


Fig. 21. Skelett eines Menschen und eines Vogels in gleicher Größe gezeichnet zur Veranschaulichung der großen Ähnlichkeit. Nach Pierre Belon (Anatom des 16. Jahrhunderts).

Wären die Bedingungsgleichungen für die Erreichung eines Schwebens in gleichbleibender Höhe nicht Kraftgleichungen, sondern Energiegleichungen, wäre also die Erreichung und dauernde Erhaltung des Schwebezustandes etwa an die Leistung einer bestimmten mechanischen Arbeit in gegebener Zeit geknüpft oder an die Transformation einer bestimmten Energiemenge in festgesetzter Zeit in Energie irgendeiner bestimmten anderen Form, so könnte es a priori zweifelhaft erscheinen, ob ein ballonfreier Schwebeflug für Flugkörper von beliebigem Gesamtgewichte physikalisch möglich ist. Die physikalische Größe, welche wir als Energie bezeichnen, besitzt nämlich die charakteristische Eigenschaft, daß sie wohl mittels geeigneter Vorrichtungen aus einer Form in eine oder auch mehrere andere Formen übergeführt oder transformiert werden kann; es ist jedoch nicht möglich, eine bestimmte Energiemenge irgendwelcher Form in beliebig langer oder kurzer Zeit in die äquivalente Menge irgendeiner

Digitized by Google

anderen Energieform zu transformieren. Die Transformationsgeschwindigkeit kann also weder beliebig vergrößert noch beliebig verkleinert werden. Für gewisse Energieumformungen besteht eine Minimal-, für andere dagegen eine Maximalgeschwindigkeit der praktisch möglichen Transformationen. Wären nun die Schwebebedingungen für einen Flugkörper Energiegleichungen, so könnte es also in der Tat möglich sein, daß die praktische Herstellung eines ballonfreien Apparates für die Fortbewegung eines Menschen durch die Luft physikalisch ebenso unmöglich wäre, wie z. B. ein perpetuum mobile. Dies ist jedoch keineswegs der Fall.

Obwohl physikalisch die Schwebearbeit, welche nötig ist, um einen Flugkörper von gegebenem Gewichte dauernd in gleichbleibender Höhe in der Luft in Schwebe zu halten, sich dem Grenzwerte Null beliebig nähern kann, ist doch bei realen Konstruktionen infolge unvermeidlicher Energieverluste stets eine von Null verschiedene Schwebearbeit nötig; diese ist für die bekannten Typen von Flugkörpern in ihrer heutigen Entwicklungsform meist so beträchtlich, daß bis in die neueste Zeit noch immer Bedenken geäußert wurden, ob denn der ballonfreie Flug auch praktisch realisierbar sein werde. Ja es gab bis vor kurzem noch immer vereinzelte Stimmen, welche behaupteten, ein ballonfreier Flug sei überhaupt nicht erreichbar; ein stichhältiger Beweis konnte für diese Behauptung freilich von keiner Seite erbracht werden, sie wurde vielmehr immer nur auf vage Vermutungen gestützt.

Flug- und Schwebevermögen. Der quantitative Wert des Flug- und Schwebevermögens eines bestimmten konkreten Flugkörpers hängt, wie die vorausgehenden Ausführungen gezeigt haben, von einer ganzen Reihe von Größen ab. Drei derselben sind durch den physikalischen Zustand der Luft, die Beschleunigung der Schwere und das spezifische Gewicht der Luft bestimmt; sie können infolgedessen nicht willkürlich verändert werden, sondern haben für einen bestimmten Ort der Erde und eine bestimmte Zeit unveränderlich vorgegebene Werte. Handelt es sich um die Frage der Herstellung eines ballonfreien Apparates für die Fortbewegung eines Menschen durch die Luft, so ist auch noch die Bedingung gestellt, daß das Gesamtgewicht des Flugkörpers samt Führer nicht kleiner sein kann als das mittlere Gewicht eines erwachsenen Menschen, d. i. 70—80 Kilogramm. Der Apparat muß also, mit anderen Worten, außer seinem Eigengewicht noch imstande sein, eine Nutzlast von der angegebenen Größe durch die Luft zu befördern.

Außer von den drei bereits angeführten Größen hängt das Flug- und Schwebevermögen eines bestimmten konkreten Flugkörpers noch wesentlich von folgenden Umständen ab: Gesamtgewicht des Apparates, Motorgewicht, Motorleistung, Inhalt der Tragfläche, Querschnitt des gesamten Rumpfes, bezogen auf eine senkrecht zur Flugrichtung liegende Lotebene, Wirkungsgrad der Krafttransmission und des Propellers, Widerstandskoeffizient der Tragfläche und des Rumpfes. Die Widerstandskoeffizienten stellen Erfahrungszahlen dar, welche wieder abhängig sind von der spezifischen Konstruktionsart der Tragfläche und des Rumpfes. Für die Bestimmung der Widerstandskoeffizienten kommen in Betracht: Form des Umfanges, Wölbung, Teilung und An-

Digitized by Google

ordnung der einzelnen Flächenelemente der Tragfläche, Form des Rumpfes, Bau des Rahmengerüstes usw.

Jeder der aufgezählten bestimmenden Faktoren, welche auf den Wert des Schwebe- und Flugvermögens eines Flugkörpers maßgebenden Einfluß haben, ist wenigstens innerhalb gewisser Grenzwerte abänderbar. Daraus folgt, daß aus jeder bestimmten, konkreten Apparattype eine nahezu unbegrenzte Anzahl von verschiedenen Variationen erzeugt werden kann; denn man kann jeden einzelnen der maßgebenden Umstände zunächst innerhalb der praktisch erreichbaren Grenzen variieren, die erreichten günstigsten Werte jedes Faktors bei der Variierung der übrigen dann unverändert beibehalten und diesen Verbesserungsprozeß so lange fortsetzen, bis es gelingt, eine Kombination zu finden, welche wirklich als flugfähig sich erweist. Haben alle Größen, welche den quantitativen Wert des Flug- und Schwebevermögens eines Flugkörpers bestimmen, bereits die obere Grenze des nach dem gegenwärtigen Stande der Technik praktisch möglichen Variabilitätsbereiches erreicht und der vorgegebene Apparat erweist sich noch immer nicht als flugfähig, so wird ein weiteres Experimentieren mit demselben wissenschaftlich wertlos. Es bleibt dann nichts weiter übrig, als zu einem neuen System überzugehen, das sich in der Dimensionierung oder Konstruktion von dem bereits erprobten konkreten Apparate unterscheidet. Dieser Entwicklungsprozeß wird so lange fortdauern, bis es gelungen ist, eine nach jeder Hinsicht befriedigende, flugfähige Konstruktion ausfindig zu machen.

Es wird natürlich nicht notwendig sein, den ganzen Entwicklungsweg rein empirisch zurückzulegen durch unablässiges Probieren. An Stelle des empirischen Experimentes wird vielfach das Gedankenexperiment treten können.

Organische Schwebe- und Flugmaschinen. Charakteristische Vorbilder von Schwebe- und Flugmaschinen finden wir auch in der Natur. Typische, dynamische Schwebemaschinen sind z. B. die Fliegen, Bienen und Mücken, während die Fledermäuse und größeren Vögel typische Flugmaschinen darstellen. Auch unter den gefiederten Seglern der Lüfte gibt es einige vortreffliche Schwebemaschinen, freilich nur unter den kleinsten, den Vogelzwergen, die nicht größer als eine Hummel sind. Die wundervoll gefärbten Kolibri besitzen z. B. ein geradezu staunenswertes Schwebevermögen. Diese herrlichen Geschöpfe saugen, gleich den ebenfalls mit kolossalem Schwebevermögen ausgestatteten Schwärmern, den süßen Nektar aus den Blumenkelchen, ohne auch nur ein einziges Mal sich niederzulassen. Auch viele Fliegen besitzen ein sehr großes Schwebevermögen. Stundenlang kann man die Schwebefliegen und Mücken in der Luft ihr Spiel treiben sehen. Das Schweben scheint diesen Tierchen gar keine Mühe zu verursachen.

Mit einem Taubenschwanzschwärmer habe ich wiederholt folgendes Experiment gemacht: Schließt man ihn in die hohle Hand ein, so daß er die Flügel nicht entfalten kann, und schleudert ihn mit einem mächtigen Rucke gegen den Boden, so erfängt er sich noch immer in der Luft. Man kann daraus entnehmen, mit welchem Übermaß an Kraft diese Schwärmer ausgestattet sind.

Mit zunehmendem Gewichte des Flugtieres sinkt das Schwebe-

Digitized by Google

vermögen sehr rasch. Nur wenige der größeren Vögel sind imstande, senkrecht sich zu erheben oder kurze Zeit über demselben Orte sich in windstiller Luft in Schwebe zu erhalten.

Während das Schwebevermögen mit zunehmendem Gewichte des Flugtieres rasch abnimmt, wächst umgekehrt das Flugvermögen mit wachsendem Gewichte und erreicht bei den größten Fliegern (Adler, Geier, Albatros) unglaublich hohe Werte. Geradezu staunenswert groß ist das Flugvermögen des über vier Meter klafternden Albatros. Tschudi ließ einem an Bord seines Schiffes gefangenen Albatros Kopf, Hals und Brust mit Teer bestreichen und ihm dann die Freiheit wiedergeben. Der Vogel folgte sechs Tage und Nächte dem Schiffe, das durchschnittlich vier bis fünf Seemeilen in der Stunde zurücklegte, und entfernte sich während dieser Zeit nur viermal, jedoch nie länger als eine Stunde, außerhalb die deutliche Se[illegible]weite, wie der wachhabende Offizier durch stetige Beobachtung feststellte. Am siebenten Tage in der Früh strich der Albatros seewärts und wurde seit der Zeit nicht mehr gesehen. Noch größer scheint das Flugvermögen und die Flugausdauer des Riesensturmvogels zu sein. Gould meint, daß er oft um die ganze Erde fliegen möge. Ein durch sein helles Gefieder auffallender Vogel dieser Art verfolgte das Schiff Goulds auf seiner Fahrt vom Vorgebirge der Guten Hoffnung nach Tasmanien ungefähr drei Wochen lang und durchflog während dieser Zeit mindestens 2000 Seemeilen, da er, in weiten Kreisen von 20 Seemeilen Durchmesser umherschweifend, nur alle halben Stunden vom Schiffe aus sichtbar war.

Der Naturalismus in der Flugtechnik. Der falsche Naturalismus, die allzu große Bewunderung der Zweckmäßigkeit der Natur hat nur hemmend auf die Entwicklung der Flugtechnik gewirkt. Die Natur ist freilich eine erhabene Meisterin, ihre Leistungen sind unübertrefflich, wenn man sie als Ganzes nimmt, als Organismus. Überall aber, wo eine Teilung der Funktionen möglich ist, hat die Intelligenz des Menschen weit Zweckmäßigeres geschaffen, als die Natur dies vermochte. Der Chemiker, der Physiolog kann auch nicht einmal einen einzelligen Organismus zusammensetzen, der Techniker kann keinen Walfisch „konstruieren" mit Haut und Knochen, aber er fügt aus Holz und Stahl Schiffskolosse, die auf ihrem Rücken Tausende von Menschen in kaum sechs Tagen von den Gestaden Europas zu den Ufern der neuen Welt tragen.

Wer wird nicht die muntere Schwalbe voll Entzücken verfolgen, wenn sie wie spielend, Fliegen jagend, durch die Straßen schießt oder hoch über uns im blauen Äther sich lustig tummelt?

Wen würde da nicht die Fliegelust anwandeln!

Aber „ach, zu des Geistes Flügeln wird so leicht kein körperlicher Flügel sich gesellen!"

Mutloses Verzagen, kleinmütiger Zweifel an der Schaffenskraft des menschlichen Intellektes ist die Folge der ungebührlichen Überschätzung der Zweckmäßigkeit der Naturerzeugnisse.

Überall, wo es sich um die Erzielung eines spezifisch mechanischen Effektes handelt, hat der Mensch mit Hilfe seiner Gehirnfunktion die Leistungen der Natur weitaus übertroffen. Man wolle eben nicht vergessen: die Natur schafft Organismen, der Mensch — Ma-

Digitized by Google

schinen. Der Vogel ist aber nicht bloß eine fliegende Maschine, er ist auch ein organisiertes Wesen. Sein Zweck besteht nicht einzig und allein darin, zu fliegen, sondern er hat auch den Trieb in sich, Nahrung zu suchen, ein Nest zu bauen, sich fortzupflanzen. Die Entwicklung des Flugvermögens kommt bloß insoweit in Betracht, als es für die Zwecke der Arterhaltung förderlich ist. Wo dies nicht der Fall ist, verkümmern die Flugorgane allmählich und das Flugvermögen kann schließlich auch ganz verloren gehen.

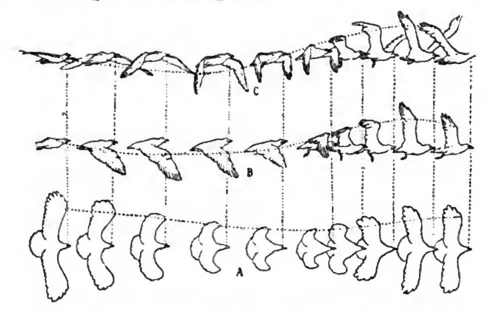


Fig. 22. Photochronographie einer Möwe in drei Ebenen.
A Projektion auf die Horizontalebene, *B* auf eine Vertikalebene parallel zur Flugachse, *C* auf eine Vertikalebene schräg zu dieser Achse. Die gestrichelten Linien geben die sukzessiven Projektionen desselben Flügelpunktes in den drei Ebenen. Nach Marey.

Handelt es sich bloß um die Herstellung einer „Maschine", mit der man fliegen kann, dann braucht der Techniker nicht zu verzagen. Fliegende Organismen werden wir freilich nie schaffen können, gewiß aber wird der Flugtechniker einmal Maschinen zu bauen vermögen, die den besten Flieger in der organischen Welt ebensosehr an Leistungsfähigkeit übertreffen, wie unsere modernen Eilzugslokomotiven den flinksten Renner.

Digitized by Google

I. Teil.

Der aerostatische Flug.

Der gewöhnliche Kugelballon.

Historisches.

Vorgeschichte der Erfindung des Luftballons. Aus Dokumenten, datiert vom Jahre 1624, die der französische Missionär Vasson in den Archiven zu Peking fand und übersetzte, ist zu entnehmen, daß in dieser Stadt zur Feier der Krönung des Kaisers Fo-Kien im Jahre 1306 ein wirklicher Ballonaufstieg stattgefunden habe. Die Berichte sind aber zu unbestimmt, als daß man ihnen historischen Wert beimessen könnte. Die Beobachtungen, welche zur Herstellung des Luftballons führten, sind ja so natürlich, daß sie sich ohne jede Absicht instinktiv auch dem naiven Menschen aufdrängen mußten. Die riesigen Haufenwolken schwimmen anscheinend in der Luft wie ein Stück Holz auf dem Wasser. Der Rauch steigt auf. Könnte man den Rauch nicht in einem großen Sack einfangen? Ein Versuch in größerem Maßstabe, und der Luftballon wäre erfunden gewesen. Da die Flugidee, wie wir in der Einleitung schon gesehen haben, uralt ist und weit in die prähistorische Zeit zurückreicht, ist es eigentlich zu verwundern, daß eine zufällige günstige Erfahrung nicht schon Jahrhunderte früher zur Erfindung des Luftballons geführt hat. Welchen Einfluß hätte es wohl auf die Entwicklung der Kultur gehabt, wenn etwa die Ägypter oder die Hellenen schon den Heißluftballon gekannt hätten?

In Europa taucht die Idee des aerostatischen Fluges, soweit wir dies heute beurteilen können, erst um die Zeit des 30 jährigen Krieges in klarer Form auf. In den Romanen Cyrano de Bérgéracs bewegen sich die Helden teils aerodynamisch, teils aerostatisch durch die Luft. Cyrano war ein Schöngeist, Dichter und Musiker, außerdem aber auch ein tüchtiger Physiker aus der Schule Gassendis und Descartes. In dem Roman „Voyage dans la lune“ (Reise zum Mond) beschreibt er das Verfahren, welches er anwandte, um sich zu erheben. Er füllte eine Reihe von Phiolen mit Tau und band sie sich um den Leib. Die Strahlen der Sonne erwärmten den Tau und dieser erhob sich, wie wir dies in den so vielmal größeren mächtigen Gewitterwolken sehen. Die Beobachtung des Schwebens der Wolken hat, wie wir finden werden, auch Montgolfier zu seinen Studien angeregt. Man hat deshalb in diesem Gedanken den Ausgangspunkt der Erfindung des Luftballons

Digitized by Google

zu sehen. Wie nahe Cyrano dieser war, erhellt aus einer anderen Stelle seiner Werke, wo er beschreibt, wie er sich mittels großer, mit Rauch gefüllter geschlossener Vasen erhoben habe. „Der Rauch (fumée), der sich entwickelte, suchte sie zu erheben und, da er die Wände nicht durchdringen konnte, stieß er die Gefäße nach oben.“ Deutlicher konnte man das Prinzip des Heißluftballons mehr als ein Jahrhundert vor Montgolfier wohl kaum darstellen.



Fig. 23. Erste Montgolfière.
Konstruiert in Paris auf Kosten der Akademie der Wissenschaften, 1783.

Um das Jahr 1670 veröffentlichte der Jesuit Francesco Lana ein Buch, in dem sich ein Kapitel mit dem Titel findet: „Über die Herstellung eines Luftschiffes, welches sich in der Luft hält und sich bewegt mittels Ruder und Segel; es wird gezeigt, daß dieses Projekt praktisch realisierbar ist.“ Er sagt darin, daß es ihm nach langen Studien über den Gegenstand gelungen sei, ein Mittel zu finden, eine Maschine leichter als die Luft zu machen, die dank ihrer Leichtigkeit nicht bloß sich selbst in der Luft erhalten, sondern auch noch Menschen oder Lasten tragen kann. „Und ich glaube mich nicht zu täuschen, denn ich behaupte nichts, was ich nicht durch gewisse Versuche be-

Digitized by Google

weise und ich stütze mich auf eine Proposition des elften Buches von Euklid, welches alle Mathematiker als sicher richtig annehmen.“ Lana will vier große Kugeln aus Kupfer- oder Eisenblech luftleer machen, die dann als Träger der Nutzlast dienen sollen. Sie sind mittels Seilen an einem schiffchenförmigen Körper befestigt, der auch mit Mast und Segel ausgerüstet ist. Diese sollen zur Steuerung des Schiffes in horizontaler Richtung dienen. Die Kugeln will Lana nach der Methode von Torricelli luftleer machen. Sie werden mit einem über zehn Meter langen Rohre versehen, das oben und unten einen Hahn besitzt. Kugel und Rohr werden mit Wasser gefüllt und dann der obere Hahn abgesperrt. Nun dreht man das Ganze um und öffnet den Hahn unter Wasser. Die Kugel wird sich entleeren und das Wasser im Rohr etwa 10 Meter hoch stehen bleiben. Man schließt den Hahn an der Kugel und hat einen luftleeren Raum. Dieses Gedankenexperiment Lanas leidet an mehreren Mängeln, die dessen Realisierung ausschließen. Die Kugeln sollten einen Durchmesser von $7^1/_2$ Meter erhalten und aus Blech von etwa $^1/_9$ Millimeter Dicke hergestellt werden. Da sie rund 285 Kilogramm Luft verdrängen, aber nur 180 Kilogramm wiegen, würde in der Tat jede von ihnen einen freien Auftrieb von rund 100 Kilogramm erhalten. Auf der Oberfläche der evakuierten Kugeln lastet aber ein Luftdruck von nahezu $1^3/_4$ Millionen Kilogramm, sie müßten deshalb sofort eingedrückt werden. Lanas Projekt ist deshalb praktisch nicht durchführbar.

Die Brasilianer beanspruchen die Priorität der Erfindung des Luftballons für ihren Landsmann Bartholomeo Lourenço de Gusmâo, der am 28. August 1709 im Hofe des königlichen Palastes in Gegenwart des Königs Johann V. und einer großen Zahl von Zuschauern in Lissabon einen Aufstieg gemacht haben soll. Der Akademiker Francisco Freire de Carvallo schreibt in dem Bericht der Akademie zu Lissabon: „Die Prüfung von verschiedenen Memoiren, seien sie gedruckt oder im Manuskript, stellt fest, daß Gusmâo eine Maschine erfunden hat, mit deren Hilfe man sich durch die Luft von einem Ort zum andern bewegen kann.“ Aber er fügt hinzu, daß es „unmöglich“ sei, nach „diesen Beschreibungen sich eine genaue Idee zu machen von der Maschine selbst.“ In der Nationalbibliothek in Paris existiert eine Zeichnung der Maschine von Bartholomeo Lourenço von einem Graveur des 18. Jahrhunderts. Nach dieser sollte der Apparat die Form eines Vogels haben, versehen mit einer Art Flügel und überdeckt mit einem gefalteten Segel. Im Innenraum stehen zwei globusförmige Kugeln. Eine Figur blickt durch ein horizontal gestelltes Fernrohr. Über sie ist ein Netz gespannt, ruhend auf den lotrechten Stangen. Die ganze Figur macht einen recht abenteuerlichen Eindruck. Wenn sie auch vielleicht nicht völlig ein Phantasiegebilde sein mag, ist es doch ganz unmöglich, nach ihr sich eine Vorstellung vom Bau und der Wirkungsweise des Apparates zu bilden. Allzuviel darf man auf derartige Stiche freilich nicht geben. Wir werden in dem Abschnitt über dynamische Luftschiffahrt sehen, daß über Versuche, die gut beglaubigt sind, ganz abenteuerliche Zeichnungen vorliegen. Der Geschichtsschreiber Ferreira schreibt: „Gusmâo führte seinen Versuch im großen Hofe des Palais des Indes vor Seiner Majestät und einer

Digitized by Google

großen Zahl von vornehmen Zuschauern vor mit einer Kugel, welche sich langsam bis zur Höhe des Saales der Botschaft erhob, dann in gleicher Weise sich wieder senkte. Sie wurde emporgetragen, durch gewisse Materien, die verbrannten, und welche der Erfinder selbst in Feuer gesetzt hatte.“ Bartholomeo Lourenço erhielt vom König eine lebenslängliche Pension und auch eine Professur an der Universität Coimbra. Es existiert noch das Verleihungsdekret und auch noch die Bittschrift,



Fig. 24. Heißluftballon (Montgolfière).
Erster Aufstieg mit lebenden Gondelinsassen (Hahn, Widder und Ente) am 19. September 1783 in Versailles.

mit der der Erfinder sich an den König wandte wegen Verleihung eines ausschließlichen Privilegiums. Die Nachahmung wurde mit der Todesstrafe belegt!!

In einer Schrift von Bourgois, die 1784 in Paris erschien, heißt es: „Während ich mich mit diesen Untersuchungen beschäftige, erfahre ich, daß M. de Gusman, ein tüchtiger Physiker im Jahre 1736, einen Weidenkorb, der mit Papier überzogen war, in die Luft aufsteigen ließ. Er war länglich und von 7 oder 8 Fuß (2—$2^1/_2$ Meter)

Digitized by Google

Durchmesser. Er erhob sich bis zur Höhe des Turmes von Lissabon, der ungefähr 200 Fuß (60 Meter) hoch ist. Man nannte seitdem M. de Gusman O Vooador. Diese portugiesischen Worte bezeichnen einen, der fliegen will. Der Autor wandte sich dann, um wenigstens einen einwandfreien Zeugen zu finden, an einen Kaufmann in Lissabon mit der Bitte, ihm genaue Information zu verschaffen. Er schrieb nun, „daß mehrere Personen sich noch erinnern, aber nur sehr dunkel."

Es mag überraschen, daß wir über Geschehnisse, die sich vor verhältnismäßig so kurzer Zeit zugetragen haben sollen, so lückenhaft orientiert sind. Man darf aber nicht vergessen, daß damals in Spanien und Portugal noch die Inquisition in Blüte stand. Aus den überlieferten Berichten scheint in der Tat hervorzugehen, daß schon in der ersten Dekade des 18. Jahrhunderts von Bartholomeo de Lourenço ein gelungener Versuch mit einem unbemannten Heißluftballon gemacht wurde. Zuverlässiger sind die Nachrichten über ein ähnliches Experiment, das der Physiker Gusman fast drei Jahrzehnte später gleichfalls in Lissabon ausführte. Sowohl Bartholomeo Lourenço, wie auch Gusman unterließen es aber, ihre Apparate in so großem Maßstabe herzustellen, daß ein Mensch hätte hochgenommen werden können. Die Priorität der Erfindung des Luftballons kann deshalb den beiden Portugiesen nicht zugeschrieben werden, wenn auch ihr Name unter den Vorgängern Montgolfiers nicht fehlen darf.

Der Dominikanermönch Josef Galien veröffentlichte 1735 ein Buch „l'Art de naviguer dans l'air" (Die Kunst der Luftschiffahrt), in dem er das Projekt eines mit verdünnter Luft gefüllten Ballons auseinandersetzt. Im Jahre 1757 erschien ein Neudruck des Werkes in Avignon. Galien beschreibt sein Luftschiff mit minutiöser Genauigkeit. Es soll „länger und breiter" werden „als die Stadt Avignon" und dessen Höhe soll „jener eines größeren Berges gleichkommen". Gefüllt soll es mit „Luft der Hagelregion" werden, „deren Dichte gleich der Hälfte der unteren Luft ist." Galien berechnet die Auftriebskraft eines Luftschiffes von tausend Toisen (1900 Meter) und findet diese zu 60 Millionen Zentnern. Davon rechnet er 10 Millionen Zentner für das Gewicht des Luftschiffes ab, 4 Millionen für die Passagiere und 36 Millionen für Waren. Es bleibt dann noch ein freier Auftrieb von zehn Millionen Zentnern. Auf die ungeheueren Dimensionen seines Projektes kam Galien durch geometrische Überlegungen. Er sagt: „Je größer es (das Luftschiff) sein wird, desto mehr wird sein absolutes Gewicht betragen, aber es wird auch im Verhältnis zu seiner enormen Größe geringer sein, wie diejenigen verstehen werden, welche vertraut sind mit der Geometrie und wissen, daß, je größer ein Körper wird, eine um so geringere Oberfläche dieser hat, was von absolutem Vorteil ist."

Galien scheint sein Riesenluftschiff aber doch nur als ein Rechenexempel zu betrachten, um zu zeigen, welche ungeheueren Lasten man befördern könnte; denn er schreibt: „Ich begreife indes, daß es für unsere Luftschiffahrt nicht nötig sein wird, Apparate von so ungeheueren Dimensionen zu konstruieren. Was die Form betrifft, die man diesen Schiffen geben wird, dürfte sie ohne Zweifel sehr verschieden sein von jener, die wir beschreiben wollen." Er fügt weiter hinzu, daß „diese Schiffahrt nicht so gefährlich sein wird, als man sich vorstellen möchte",

Digitized by Google

und bemerkt, daß selbst im Falle eines Absturzes der enorme Luftwiderstand, welchen die ungeheueren Flächen bieten würden, genügen, den Sturz viel langsamer zu machen als den Fall einer leichten Feder. Galien vergißt zu erwähnen, woher die Luft der „Hagelregion“ genommen werden soll zur Füllung seines Luftschiffes. Das Projekt erweist sich als praktisch nicht ausführbar. Es leidet an demselben Fehler wie jenes Lanas. Auch Galien übersah, daß zwischen der Außenseite des Tragkörpers keine Druckdifferenz bestehen darf, weil dieser sonst durch den Luftdruck eingedrückt wird. Die Luft der „Hagelregion“ hätte bei der halben Dichtigkeit auch nur den halben Druck. Würde man in einer Höhe von etwa $5^1/_2$ Kilometer Galiens Flugschiff mit Luft füllen und hermetisch abschließen, so hätte der Tragkörper an der Erdoberfläche den Druck von rund 5000 Kilogramm pro Quadratmeter auszuhalten. Dieses Versehen Galiens ist eigentlich überraschend, da doch schon mehr als ein Jahrhundert früher durch Torricelli und Pascal das Phänomen des Luftdruckes und auch die Erscheinung der Druckabnahme mit der Entfernung von der Erdoberfläche entdeckt wurde. Lana war mit dem Torricellischen Versuch wohl vertraut, wie sein Vorschlag zur Evakuierung seiner Kugeln erkennen läßt. Auch Galien war ein hervorragend gelehrter Mann, Doktor und Professor der Theologie und Philosophie. Sein gigantisches Projekt zeigt, daß er auch ein phantasievoller und kühner Denker war. Die Geschichte der Erfindung des Luftballons ist nicht allein für den Aeronauten und Flugtechniker, sondern auch vom rein entwicklungsgeschichtlichen Standpunkte außerordentlich interessant. Sie gibt uns ein vortreffliches Beispiel für den Weg, auf dem ein erheblicher wissenschaftlicher und technischer Fortschritt entsteht, und die Bedeutung des Individuums.



Fig. 25.
Heißluftballon (Montgolfière).
Erster bemannter Aufstieg am 21. November 1783. In der Gondel Pilâtre de Rozier und Marquis d'Arlandes.

Der Akademiker L a l a n d e, ein berühmter Astronom, veröffentlichte 1782 im Journal de Paris eine Abhandlung, in der er sagt: „Es ist erwiesen als unmöglich in jedem Sinne, daß ein Mensch sich erheben oder selbst nur sich in Schwebe halten könnte in der Luft.“ Weiter heißt es: „Die Unmöglichkeit, sich zu erheben durch Flügelschlag, ist ebenso sicher, wie die Unmöglichkeit, sich mittels der spezifischen Schwere luftleerer Körper aufzusteigen.“ Lalande sprach damit auch die offizielle Anschauung der französischen Akademie über das Fliegen der Menschen aus. Diese gelehrte Gesellschaft galt damals wie auch heute noch als die höchste Autorität in Sachen der Wissenschaft. Es muß gewiß

Digitized by Google

als Glück für die Wissenschaft und die Technik bezeichnet werden, daß es zu allen Zeiten Anarchisten des Geistes gegeben hat, Männer, welche ihr Denken nicht unter das Joch des Autoritätsglaubens beugten!

Auch die Rolle, welche das Individuum bei technischen Fortschritten spielt, wird vielfach unterschätzt. Wir werden sehen, daß gleichzeitig mit Montgolfier oder auch erheblich vor ihm eine Reihe von Forschern der Erfindung des Luftballons auf Greifweite nahekamen.

Der englische Chemiker und Arzt Dr. Black schrieb 1784 in einem Brief an Dr. Lind folgendes: „Es schien mir aus den Prinzipien des M. Cavendish hervorzugehen, daß ein Gefäß, genügend klein und leicht, mit brennbarer Luft[1]) gefüllt, wenn es samt der eingefüllten Luft eine Masse bildet, die weniger schwer ist als das gleiche Volumen Luft, sich in den Raum erheben wird. Ich sprach davon zu mehreren meiner Freunde und in meinen Vorlesungen, seit ich Gelegenheit hatte, die brennbare Luft zu behandeln, das ist in den Jahren 1767 oder 1768." Ein anderer englischer Forscher, Tiberio Cavallo, begnügte sich nicht mit dem bloßen Gedankenexperiment. Er richtete 1782, also ein Jahr vor der Erfindung des Luftballons, an die königliche Gesellschaft in London eine Abhandlung, in der er seine Versuche beschreibt. Er bemühte sich, berichtet Cavallo, eine Hülle zu finden, die, mit brennbarer Luft gefüllt, leichter wäre als ein gleiches Volumen Luft und welche folglich sich in die Atmosphäre erheben könnte nach Art des Rauches, denn man weiß, daß die brennbare Luft spezifisch leichter ist als die gewöhnliche Luft. Cavallo zählt dann alle die Versuche auf, welche er mit tierischen Blasen anstellte; diese wurden gereinigt und mit großer Sorgfalt dünner gemacht. Auch Schwimmblasen von Fischen usw. wurden verwendet. Alle diese Hüllen waren aber zu schwer. Cavallo versuchte dann, leichte und dauerhafte Blasen herzustellen, indem er Wasserstoff in dicke Gummilösungen, in Firnis, dickes Maleröl usw. einleitete. Es gelang ihm bloß, Seifenblasen zum Aufsteigen zu bringen. Er machte dann noch einen Versuch mit chinesischem Papier in Form eines Zylinders mit konischen Enden und berechnet Gewicht und Dimensionen, daß es, mit dem Gas gefüllt, sich erheben müßte. Der Versuch mißlang. Der Wasserstoff entwich durch die Poren des Papieres zu rasch. Cavallo ist also über Laboratoriumsexperimente nicht hinausgekommen. Er scheint das Projekt von Galien nicht gekannt zu haben, sonst wäre er sich wohl darüber klar geworden, daß mit der Vergrößerung der Dimensionen des Tragkörpers die Wahrscheinlichkeit eines Erfolges zunehmen müßte. Die heutige Technik vermag, wie wir dies an den Kinderballons sehen, allerdings auch Tragkörper von sehr geringem Volumen genügend leicht und gasdicht herzustellen. Wäre Cavallo auf die Idee verfallen, seine Versuche in genügend großem Maßstabe anzustellen, so wäre ihm vielleicht schon vor Montgolfier das entscheidende Experiment gelungen. Die Erfindung des Luftballons lag also sozusagen schon in der Luft. Black hatte schon alle Fäden in der Hand, die ihn zur

[1]) Wasserstoffgas, 1766 entdeckt.

Digitized by Google

Lösung des aerostatischen Problems hinleiten mußten. Ja er hatte dieses auch gelöst, aber bloß in — Gedanken. Er begnügte sich damit und versäumte es, durch das physische Experiment die Richtigkeit seiner Schlüsse ad oculos zu demonstrieren. Cavallo führte auch den Versuch aus, allein in zu kleinem Maßstabe. Die Erfindung des Luftballons kann deshalb keinem von beiden zugesprochen werden.

Die Individualität des Forschers spielt demnach in der Technik wohl eine erhebliche Rolle. In dem Maße aber, als die Zahl der Mitarbeiter an der Lösung eines konkreten technischen Problems wächst, sinkt die Bedeutung des Individuums immer mehr. Wenn die Entwicklung einen gewissen Punkt erreicht hat, verschwindet sozusagen die persönliche Note des Forschers. So kommt es, daß bei vielen technischen Er-



Fig. 26. Joseph Michael de Montgolfier.
Geboren 26. August 1740 zu Vidalon bei Annonay, gestorben 26. Juni 1811 zu Balaruc.

findungen das Individuum, mit dessen Namen wir die Erfindung zu verknüpfen pflegen, wenn man genau zusieht, eigentlich nur unerhebliche Verdienste für sich in Anspruch nehmen dürfte. Es ist darum auch so schwer, bei technischen Fortschritten eine gerechte Wertung des Anteiles der verschiedenen Mitarbeiter zu treffen. Gerade das aerostatische Problem bietet ein sehr klares Beispiel dafür.

Man könnte die Entwicklungsgeschichte des Luftballons, ohne mit der historischen Wahrheit in Widerspruch zu geraten, auch so darstellen, daß Montgolfier eigentlich nichts mehr zu tun übrig blieb. Alles Verdienst wäre danach seinen Vorgängern zuzumessen. Man könnte aber auch die Arbeiten aller Mitarbeiter an dem Problem als völlig wertlos hinstellen und sich geradezu lustig machen

Digitized by Google

über die abenteuerlichen Ideen eines Lana oder Galien. Alles Verdienst käme dann Montgolfier einzig und allein zu. Man findet beide Auffassungen auch noch in modernen aeronautischen Werken vertreten. Sie sind aber beide gewiß nicht zutreffend, wenn man auf den Entwicklungsgedanken Rücksicht nimmt. Es läßt sich nichts dagegen einwenden, Montgolfier als Erfinder des Luftballons zu bezeichnen, weil er den ersten aerostatischen Tragkörper gebaut hat, mit dem größere Lasten in die Luft gehoben wurden. Es wäre aber ungerecht, die Leistungen aller Mitarbeiter, sie mögen uns heute noch so naiv erscheinen, für gering zu achten. Aus diesem Grunde wurden auch die Arbeiten der Vorläufer Montgolfieres und Charles eingehender besprochen, als dies gewöhnlich der Fall ist.

Es mag noch angefügt werden, daß John Clayton 1691 einen Brief an den berühmten Physiker Robert Boyle schrieb, in dem er seine Versuche mit dem Gas beschreibt, welches er durch Destillation von Steinkohle erhalten hatte. Er füllte es in Blasen. Wenn diese nur leicht genug gewesen wären, hätten sie sich erheben müssen. Damit wäre nahe ein Jahrhundert vor Montgolfier durch einen Zufall die Erfindung des Leuchtgasballons gelungen, vorausgesetzt, daß Clayton aus seiner Beobachtung die richtigen Konsequenzen gezogen hätte.

Die Erfindung des Luftballons durch Montgolfier. Die großen, so massig erscheinenden Haufenwolken, welche namentlich in den Sommermonaten fast täglich den Himmel bedecken, mußten, solange man über ihre wahre Natur noch im unklaren war, in jedem aufmerksamen Beobachter instinktiv die Idee des aerostatischen Fluges anregen.

„Eilende Wolken, Segler der Lüfte, wer mit euch wanderte, wer mit euch schiffte!“

Über diese dunkle Fliegelust ist aber bis gegen das Ende des achtzehnten Jahrhundertes kein Denker hinausgekommen. Erst auf den Papierfabrikanten Josef Michael Montgolfier aus Annonay, der sich schon seit langem mit der Flugfrage befaßte, machte das Phänomen des „Schwebens“ der Wolken so tiefen Eindruck, daß es für ihn zum bewußten Problem wurde. Eine echte Forschernatur, setzte er sich aber nicht hin, um eine Abhandlung über das Schweben der Wolken zu schreiben, mit tiefsinnigen Ausblicken auf den Flug des Menschen, sondern er versuchte künstliche Wolken zu erzeugen. Von der unzutreffenden Vorstellung ausgehend, daß die Wolken wirklich in der Luft schweben und daß folglich eine Kraft da sein müsse, die sie oben hält, stellte Montgolfier mit seinem jüngeren Bruder Etienne eine leichte Hülle her und füllte sie mit Wasserdampf, in der Hoffnung, einen Auftrieb zu erhalten. Die Idee ist keineswegs so naiv als dies auf den ersten Blick etwa scheinen möchte! Ein Kubikmeter Luft wiegt rund 1·3 Kilogramm, das gleiche Volumen Wasserdampf rund 0·8 Kilogramm. Daraus folgt, daß ein Kubikmeter Wasserdampf bei atmosphärischem Druck rund ein halbes Kilogramm Auftrieb geben muß. Hätte Montgolfier nur einen genügend großen Sack genommen, so hätte dieser in der Tat aufsteigen müssen. Der Dampf hätte sich wohl bald kondensiert, dabei aber seine hohe Kondensationswärme

Digitized by Google

an die eindringende Luft abgegeben und diese erwärmt. Da die Dichtigkeit der Luft mit steigender Temperatur kleiner wird, hätte auch der mit erhitzter Luft gefüllte Behälter noch einen Auftrieb geben müssen. Aus dem Wasserdampfballon wäre demnach automatisch ein Warmluftballon geworden. Der Wasserdampf hätte gleichsam bloß zur Anheizung der Luft gedient, wie in unseren modernen Dampfheizungen.



Fig. 27. Riesen-Montgolfière.
„l'Aigle" von Eugène Godard, 14.000 Kubikmeter Inhalt.

Mit dem Montgolfierschen Experiment war demnach eigentlich das Problem der aerostatischen Auftriebserzeugung im Prinzip gelöst, wenn es auch zunächst mit einem Mißerfolg endigte. Der Wasserdampf entwich durch die Poren der Hülle, kondensierte sich rasch und, statt sich zu erheben, fiel die Hülle wieder bald zu Boden. Montgolfier ließ

Digitized by Google

sich aber dadurch nicht entmutigen. Er verlor das Problem des aerostatischen Fluges von da an nicht mehr aus dem Auge. Um diese Zeit erschien die französische Übersetzung eines Werkes des Chemikers Pristley: „Des differentes especes d'air" (Verschiedene Arten von Luft), in dem die physikalischen Eigenschaften der Gase und insbesondere jene des Wasserstoffgases behandelt werden. Der jüngere Montgolfier faßte, angeregt durch dieses Buch, die Idee, ein Gas leichter als die Luft zur Auftriebserzeugung zu verwenden. Er teilte diesen Gedanken seinem Bruder mit und auch dieser war von der Durchführbarkeit überzeugt. Sie gingen alsbald an die Durchführung von Versuchen, indem sie Papierhüllen mit Wasserstoffgas füllten. Das Ergebnis der Experimente war aber ebenso wie die schon erwähnten Versuche von Cavallo ein durchaus negatives. Das flüchtige Gas entwich so rasch durch die Poren, daß der Tragkörper sich nicht zu heben vermochte.

Mit eiserner Konsequenz an der einmal gefaßten Idee festhaltend, setzte Josef Montgolfier seine Studien fort, immer mit offenen Augen die Naturphänomene beobachtend, die zum aerostatischen Flug in irgendeiner Beziehung standen. Durch die Beobachtung des Aufsteigens des Rauches aus einem Kamin wird er zu neuen Versuchen angeregt. „Wenn der Rauch aufsteigt, muß doch sicher eine Kraft da sein, die ihn in die Höhe treibt", mag sich Montgolfier vielleicht gedacht haben. Aber wo steckt diese Kraft? Wie groß ist sie? Statt für diese naheliegenden Fragen eine Antwort zu suchen, ja ohne sich diese wohl überhaupt vorzulegen, kauft er sich einen leichten Stoff, schneidet ihn zu einem Würfel zu, klebt die Seiten zusammen und zündet unter der unteren offenen Seite einen Haufen Papier an. Nach wenigen Sekunden beginnt die schlaffe Hülle sich zu blähen und steigt alsbald darauf vor den Augen des erstaunten Experimentators zur Zimmerdecke empor. Montgolfier war sich sofort klar, daß ihm damit endlich das langgesuchte experimentum crucis gelungen sei. Er setzt sich hin und schreibt seinem Bruder: „Beschaffe sofort Vorrat an Taffet und Seilen, und du wirst eine der wunderbarsten Sachen der Welt sehen."

Das Experiment wird zunächst heimlich in Annonay wiederholt. Diesmal verwendet Montgolfier zur Füllung Rauch, hergestellt durch eine Mischung von Wolle und feuchtem Stroh, in der Hoffnung, einen Rauch mit elektrischen Eigenschaften zu erhalten. Er schrieb anscheinend der Elektrizität der Wolken die Ursache ihres Aufsteigens in die Atmosphäre zu. Dem Tragkörper wurde bei den folgenden Versuchen kugelförmige Gestalt gegeben. Der erste Ballon erreichte nur eine geringe Höhe und fing Feuer. Ein zweiter, von 20 Kubikmeter Inhalt, zerriß seine Befestigungen und erhob sich bis gegen 300 Meter; er fiel zehn Minuten später auf einen benachbarten Hügel nieder. Die Versuche konnten nun nicht länger geheim gehalten werden. Am 5. Juni 1783 fand in Annonay der erste öffentliche Aufstieg statt. Ein Ballon von über 600 Kubikmeter Inhalt, dessen Hülle gegen 230 Kilogramm wog, wurde einige Minuten angeheizt. Nach Lösung der Fessel erhob er sich rasch bis zu etwa 1900 Meter Höhe, fiel dann langsam und erreichte in einer Distanz von mehr als zwei Kilometer den Boden.

Montgolfier wurde eingeladen, das Experiment in Paris auf Kosten

Digitized by Google



Fig. 28. Wasserstoffballon (Charlière).
Erster Aufstieg des Physikers Jacques Alexander Charles in Begleitung von Robert am 1. Dezember 1783 in den Tuilerien (Paris).

Digitized by Google

der Akademie der Wissenschaften zu wiederholen. Da die Unterhandlungen sich in die Länge zogen, trat der Professor am botanischen Garten Faujas de St. Fond mit dem Physiker Charles und den Brüdern Robert in Verbindung. Diese hatten ein Mittel gefunden, den Kautschuk zu lösen. Durch Bestreichen mit dieser Lösung konnten Stoffe gasdicht gemacht werden. Charles sollte die Konstruktion eines Ballons durchführen. Eine öffentliche Subskription ergab in wenigen Tagen die Summe von zehntausend Franks als Fond für den Bau eines Versuchsballons. Charles hatte noch keine Kenntnis davon, mit welchem Gase die Brüder Montgolfier ihren Ballon füllten, er grübelte auch nicht lange über diese Frage nach, sondern beschloß einfach Wasserstoffgas zur Füllung zu nehmen. Da dieses mehr als vierzehnmal leichter sei als die Luft, meinte er, könne der Erfolg nicht ausbleiben. Es wurde aus Seide ein Ballon von etwa 35 Kubikmeter Inhalt hergestellt. Zur Dichtung diente die Gummilösung der Brüder Robert. Wir wissen schon, daß ohne Dichtung es unmöglich war, mittels Papier- oder Stoffhüllen einen Auftrieb zu erhalten, weil das Füllgas zu rasch durch die Poren entwich. Bisher hatte man das Wasserstoffgas immer nur in geringen Quantitäten erzeugt, die Herstellung der zur Füllung des Ballons nötigen Gasmenge stieß auf ungeahnte Schwierigkeiten.

Charles überwand nach mühevoller Arbeit alle Hindernisse und es gelang ihm, in vier Tagen die Füllung des kleinen Ballons zustande zu bringen. Fünfhundert Kilogramm Eisen und zweihundertundfünfzig Kilogramm Schwefelsäure wurden dazu verbraucht. Am 27. August erfolgte im Beisein einer ungeheuren Menschenmenge, die auf 300.000 Zuschauer geschätzt wird, der Aufstieg des Versuchsballons. Trotz des heftigen Regengusses, der gerade zur Zeit des Aufstieges niederging, erhob sich der Ballon sehr rasch und verschwand bald darauf hinter einer Wolkendecke. Der Enthusiasmus war ungeheuer! Da der Füllansatz zugebunden war, platzte der Ballon und fiel nach dreiviertelstündiger Fahrt bei Écouen, 22 Kilometer von Paris.

Kurz darauf langten die Brüder Montgolfier in Paris an und gingen sofort an den Bau eines 22 Meter hohen tonnenförmigen Ballons. Die Hülle wurde aus doppeltem starken Packpapier hergestellt. Noch vor dem öffentlichen Versuch wurde sie aber durch einen Sturm zerrissen. Es war dies ein Glück für die Montgolfiers! Ihr Ballon wäre wegen seiner zu stark zugespitzten Form gar nicht zum Aufstieg gekommen, er hätte sich nach Lösung der Fesselungen sogleich umgedreht und wäre dann höchstwahrscheinlich eingedrückt worden. Étienne Montgolfier scheint selbst auf diesen Übelstand aufmerksam geworden zu sein; denn der sofort in Angriff genommene zweite Ballon hatte die Form einer Kugel. Die Höhe des Ballons war 19 Meter, der größte horizontale Durchmesser 14 Meter, das Volumen dürfte danach rund 1500 Kubikmeter betragen haben. Zur Herstellung der Hülle wurde diesmal ein Baumwollstoff genommen. Der Aufstieg war für den 19. August angesetzt. Er erfolgte in Gegenwart der königlichen Familie und einer ungeheuren Menschenmenge in Versailles. Auch das zweite Experiment hätte auf ein Haar mit einem Fiasko geendet. Der Ballon erhielt knapp vor dem Aufstieg nahe dem oberen

Digitized by Google

Pol zwei Risse von etwa zwei Meter Länge. Etienne, der dies bemerkte, schürte das Feuer, so daß der Ballon sich doch vom Boden abhob. In einem Korb waren die ersten Luftschiffer: eine Ente, ein Hahn und ein Hammel! Infolge des raschen Ausströmens des Heizgases dauerte die Luftreise aber bloß 8—10 Minuten. Der Ballon fiel bei Vaucresson in einer Distanz von 4 Kilometer vom Aufstiegsorte wieder zu Boden.



Fig. 29. Wasserstoffballon (Charlière).

Landung Charles' bei Nesles in der Nähe von d'Hedouville. Der Herzog von Chartres und der Herzog von Fitz-James unterfertigen das Landungsprotokoll. Robert verläßt die Gondel und Charles fährt ein zweitesmal allein auf.

Es wurde nun ein großer Ballon gebaut mit einem Inhalt von rund 2000 Kubikmeter. Am 15. Oktober veranstaltete man auf Drängen eines jungen, couragierten Edelmannes einen Kaptivaufstieg. Pilâtre de Rozier, der am liebsten gleich eine Freifahrt gemacht hätte, wurde bis über hundert Meter an einem Seile hochgelassen. Es tut dem Ruhme Montgolfiers einigen Abbruch, daß er nicht selbst nach der Ehre gegeizt, als erster in seiner „Luftmaschine" aufzusteigen. Sein Zagen und Zögern veranlaßte Ludwig XVI., eine Freifahrt rundweg zu verbieten. Er bestimmte, daß bloß zwei zum Tode verurteilte Ver-

Digitized by Google

brecher den Versuch ausführen durften. Der Gedanke, daß zwei aus der menschlichen Gesellschaft Ausgestoßene des Ruhmes teilhaftig werden sollten, als erste Staubgeborene sich in den reinen Äther aufzuschwingen, versetzte den tollkühnen Pilâtre de Rozier in einen Zustand höchster Aufregung, er setzte alle Hebel in Bewegung, um das Verbot rückgängig zu machen. Der Fürsprache seiner einflußreichen Freunde gelang es schließlich, den König umzustimmen.

Am 21. November 1783 um 1 Uhr 54 Minuten nachmittags verstummte plötzlich das Toben und Schreien der schon ungeduldigen Zuschauer, die aus ganz Paris herbeigeströmt waren, das unerhörte Schauspiel zu sehen. Unter lautloser Stille begann sich die Riesenkugel, nach Lösung der Fesseln, langsam vom Boden abzuheben. Diesmal mit zwei Menschen an Bord. Pilâtre de Rozier und Marquis d'Arlandes sind die Namen der kühnen Piloten, die den Mut fanden, ihr Leben der luftigen Gasblase anzuvertrauen. Der Erbauer des Himmelsstürmers, Josef Montgolfier, blieb mit seinem Mitarbeiter und Bruder Etienne auf der „wohlgegründeten dauernden Erde", während jene kühneren auf schwankendem Fahrzeug in die Lüfte segelten. Diese Zaghaftigkeit, um nicht zu sagen Feigheit[1]), wirft einen trüben Schatten auf den Erfinderruhm der Montgolfiers. Ein Erfinder, der es selbst nicht wagt, das Produkt seines Geistes zu verwenden und anderen die Erprobung überläßt, ist eine wenig sympathische Erscheinung. Hätte Montgolfier in den beiden kühnen Edelleuten, die dies im schönsten Sinne des Wortes gewesen, nicht uneigennützige Mitarbeiter gefunden, so wäre ihm wohl der Ruhm, daß in einem von ihm gebauten Vehikel ein Mensch die erste Luftreise angetreten, noch ganz entrissen worden; denn schon zehn Tage nach dem ersten Aufstieg einer „Montgolfiere" erhob sich der Physiker Charles in Begleitung von Robert in einem von ihm gebauten, mit Wasserstoff gefüllten Ballon vom Tuileriengarten aus angesichts einer auf 400.000 Personen geschätzten Zuschauermenge.

Zwischen den Anhängern Charles und Montgolfiers ist später ein heftiger Prioritätsstreit entstanden. Charles wollte die Priorität der Erfindung des Ballons für sich und die Brüder Robert in Anspruch nehmen. Schon im Juni 1782, also vier Monate, bevor Montgolfier sein entscheidendes Experiment anstellte, wollen sie sich mit der Idee getragen haben, unter Verwendung des Dichtungsmittels von Robert einen mit Wasserstoffgas gefüllten Ballon herzustellen. An der Richtigkeit dieser Angabe ist wohl kaum zu zweifeln, es ist auch sehr wahrscheinlich, daß die Brüder Robert ihr Kautschuklösungsmittel in erster Linie zur Dichtung von Gasbehältern verwenden wollten. Schon die überraschende Schnelligkeit, mit der Charles einen Ballon herstellte, ohne die genaue Konstruktion der Montgolfierschen Luftmaschine zu kennen, legt die Vermutung nahe, daß er sich mit der Idee der Luftschiffahrt schon längere Zeit befaßt hat. Es konnte aber auch vielleicht die bloße Kunde, daß es Montgolfier gelungen wäre, einen größeren Tragkörper zum Aufsteigen zu bringen, genügen, um Charles die Lösung des Problems sofort erraten zu lassen. Sei dem wie immer!

[1]) Oder sollte es nur falsche Bescheidenheit gewesen sein? N.

Digitized by Google

Die Priorität der Erfindung des Luftballons gebührt zweifellos Montgolfier, denn er hat als erster einen Tragkörper von mehreren hundert Kilogramm Gewicht in die Luft gebracht und in einem von ihm gebauten Ballon hat sich zuerst ein Mensch vom Boden abgehoben und eine längere Luftreise gemacht. Montgolfier ist, dank seiner großen Beharrlichkeit und begünstigt von einem glücklichen Zufall, der Er-

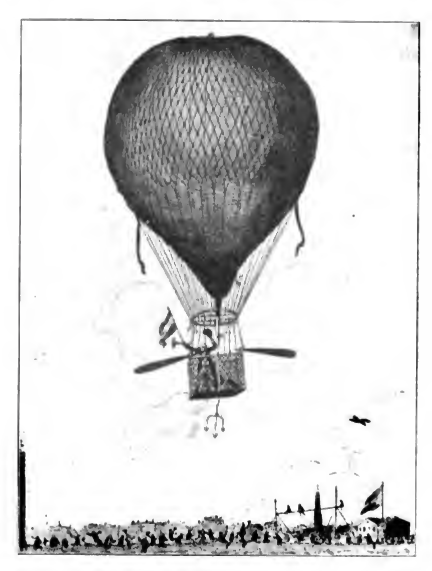


Fig. 30. Birnförmige Charlière.

Aufstieg des italienischen Aeronaut-Artisten Lunardi 14. September in London 1784. Ballon birnförmig. Verbindung des Netzes mit der Gondel durch Ring. Gondel korbförmig mit Renommierflügeln zur „Lenkung“ ausgerüstet. Ballon-Architektonik abgeschlossen, hat sich während des folgenden Jahrhunderts in keinem wesentlichen Detail mehr geändert.

finder des Luftballons geworden. Charles hat durch sein überragendes Genie an Stelle des unhandlichen, feuergefährlichen und praktisch kaum verwendbaren Heißluftballons das Luftfahrzeug geschaffen, das wir heute als Ballon schlechthin bezeichnen. Zum Unterschiede von den „Montgolfieren“ hat man den Wasserstoffballon in den ersten Jahren seiner Erfindung „Charlieren“ genannt.

Digitized by Google

Die Pariser Akademie der Wissenschaften wählte die Brüder Montgolfier zu korrespondierenden Mitgliedern und verlieh ihnen den Preis, der für die Förderung von Kunst und Wissenschaft gestiftet worden war. König Ludwig XVI. verlieh Etienne den St. Michael-Orden, Josef erhielt eine Pension von tausend Pfund und ihrem alten Vater, der 83 Jahre zählte, wurde das Adelsprädikat verliehen. Man sieht daraus, daß die Montgolfiers für ihre Leistung reichliche Anerkennung gefunden haben. Die Nachwelt hat sie durch Errichtung eines Denkmales geehrt, das zur Zentenarfeier des ersten Aufstieges in Annonay enthüllt wurde.

Es wurde schon erwähnt, daß Montgolfier sich nicht recht klar war über die Natur des Füllgases seines Ballons. Wir wissen heute, daß dieses aus erwärmter Luft, den leichten gasförmigen Verbrennungsprodukten der Wärmequelle und Wasserdampf besteht. Ein Kubikmeter Luft gibt, auf hundert Grad erwärmt, einen Auftrieb von rund $^1/_3$ Kilogramm; der Auftrieb eines gleichen Volumens Wasserstoff ist nahe viermal so groß. Daraus erhellt, daß eine Montgolfiere bei gleicher Tragkraft rund das vierfache Volumen einer Charliere besitzen muß. Ein weiterer Nachteil des Heißluftballons ist seine große Feuergefährlichkeit bei der Füllung, während der Fahrt selbst und auch noch bei der Landung. Fiel die Hülle auf die noch glühende Pfanne, so war das kostbare Material meist verloren, da der entstehende Brand nicht schnell genug gelöscht werden konnte. Überdies litt der Stoff durch die große Hitze so sehr, daß eine mehrfache Verwendung ausgeschlossen war. Die Fahrtdauer war recht beschränkt wegen der raschen Abkühlung des Füllgases und der Unmöglichkeit, große Mengen an Brennmaterial mitzuführen. Die Steuerung in der Lotrechten war beim Heißluftballon bloß durch Schürung oder Abdämpfung des Heizfeuers erzielbar, ein höchst unbequemes und unrationelles Verfahren. Alle diese Nachteile hatten zur Folge, daß die Montgolfieren über die Bedeutung eines Demonstrationsapparates nicht hinauskamen. Man hat wohl vielfache Verbesserungen versucht, allein die genannten prinzipiellen Mängel der Konstruktion konnten nicht beseitigt werden. Der einzige Vorteil des Heißluftballons gegenüber der Charliere war die leichte und bequeme Herstellung des Füllgases. In dem Maße aber, als es gelang, die Methode der Erzeugung von Wasserstoffgas zu vereinfachen und zu verbilligen, wurden die Montgolfieren durch die Charlieren immer mehr verdrängt, und heute besitzen diese nur mehr historisches Interesse.

Vereinzelt wurden von Aeronaut-Artisten Montgolfieren zu Schaustellungen bis in die neueste Zeit verwendet. Einen Heißluftballon von ungeheuren Dimensionen erbaute der französische Aeronaut-Artist Eugène Godard im Jahre 1864. Der birnförmige Tragkörper faßte 14.000 Kubikmeter, hatte eine Höhe von 36 Meter und einen größten horizontalen Durchmesser von 23 Meter. Das Gewicht des Tragkörpers allein betrug nahe 1500 Kilogramm, samt Gondel, Heizapparat, Brennmaterial und acht Personen erreichte das schwebende System ein Gesamtgewicht von über 3800 Kilogramm. Der Heizapparat bestand aus einem Füllofen mit dreifacher Hülle. In das Innere des Ballons ragte ein Kamin hinein, der durch Drahtgitter abgedeckt war, um

Digitized by Google

eine Verbrennungsgefahr möglichst auszuschließen. Als Heizmaterial diente Roggenstroh, von dem 250 Kilogramm zur Anheizung dieses riesigen Tragkörpers verbraucht wurden. Wenn die mittlere Temperatur der Innenluft den Betrag von 72 Grad Celsius erreichte, hob sich der Ballon ab, bei 100 Grad erreichte er einen Auftrieb von über 1000 Kilogramm. Godard führte mit dieser Riesen-Montgolfiere mehrere Aufstiege aus. Sie stellt den größten Freiballon dar, der je gebaut wurde. Die von Godard versuchte Wiederbelebung der Montgolfiere hatte keinen Erfolg. Er gab zu diesem Zwecke auch eine neue Zeitschrift „Le Montgolfier“ heraus, deren erste Nummer anfangs 1864 erschien; sie war auch die letzte. Der Heißluftballon ist damit endgültig in das aeronautische Museum gewandert. Das Verdienst des Erfinders der Montgolfiere soll nicht gering geachtet werden, aber ebenso hoch, wenn nicht noch höher zu schätzen sind die Leistungen des Mannes, der den Luftballon erst zu dem gemacht hat, was er heute ist. Es ist dies der schon erwähnte Physiker Charles. Wegen des großen Interesses, das die Erfindung des Luftballons nicht nur vom aeronautischen, sondern auch vom entwicklungsgeschichtlichen und kulturhistorischen Standpunkte aus beansprucht, sollen auch die ersten Aufstiege mit bemannten Wasserstoffballons ausführlicher besprochen werden.

Fig. 31. Schema eines Kugelballons. Meridianschnitt.

Bh Ballonhülle, *Fs* Füllansatz (Appendix), *Vl* Gasauslaßventil durch Ventilleine *L* vom Korb *K* aus betätigt; *Rb* Reißbahn, mit Stoffstreifen überklebter Schlitz in der Ballonhülle, der durch Reißleine *L'* vom Korb aus aufgerissen werden kann, zur raschen Entleerung des Ballons nach der Landung. Über die Hülle *Bh* Netz gelegt, dessen Maschen in die Auslaufleinen *A* auslaufen zur Verbindung mit den Korbleinen *K* mittels des Ringes *Rg*. Am Ring Schleppleine (Schleifleine) *Sch* angebracht, dient als „Fühler“ des Ballons zum Anzeigen der Fahrhöhe und zur Entlastung. *Bt* Ballastsäcke aus starker Segelleinwand mit feinem Sande gefüllt.

Die Ausgestaltung des Wasserstoffballons durch Charles. Nach dem glänzenden Erfolg, den Charles mit seinem ersten Versuchsballon erzielte, ging er mit den Brüdern Robert sofort an die Herstellung eines größeren Seidenballons, der zwei Personen tragen sollte. Die erforderlichen Kosten von 10.000 Franks waren rasch aufgebracht und einen Monat darauf war ein

Digitized by Google

prächtiger kugelförmiger Seidenballon von neun Meter Durchmesser hergestellt. Wir entnehmen daraus, daß Charles Ballon bloß einen Inhalt von etwa 380 Kubikmeter hatte. Seine Tragkraft erreichte bei der Füllung mit reinem Wasserstoffgas demnach 420 Kilogramm.

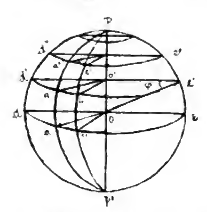


Fig. 32. Konstruktion des Kugelballons. Herstellung der Ballonhülle aus meridionalen Bahnen $P a'' a' a$, $P' b b' b''$ entsprechend der größten Stoffbreite ab. Radius der Parallelkreise $o' c'$ usw. nimmt gegen die Pole proportional dem Kosinus der Breite φ ab, im selben Maße sinkt auch der Umfang der Parallelkreise und die zwischen zwei Meridianen liegenden Bogen $a' b'$, $a'' b''$ usw. Man erhält in dieser Weise leicht rechnerisch oder zeichnerisch die Form einer Bahn, von der dann eine Schablone hergestellt wird.

Die Füllung des Ballons dauerte sehr lang und hätte beinahe mit einer Katastrophe geendet. Eine der Tonnen, in denen das Gas entwickelt wurde, fing Feuer, es trat eine heftige Explosion ein. Nur die große Geistesgegenwart Charles' verhinderte das Übergreifen der Entzündung auf den Ballon selbst. Als Tag des Aufstieges wurde der 21. Dezember 1783 festgesetzt. Er sollte vom Tuileriengarten aus erfolgen. Um Mittag des Aufstiegtages wurden die Gelehrten und die Zeichner von vier Louis in den reservierten Raum eingelassen. Wer ein Dreifranksbillett besaß, konnte in den Garten eintreten. Draußen wogte eine ungeheuere Menschenmenge, die schon gespannt auf das Spektakel wartete. Plötzlich verbreitet sich das Gerücht, daß die Auffahrt nicht stattfinden werde, der König hätte sie untersagt. Die tobende Menge ist darüber sehr ungehalten und verdächtigt schon ganz offen Charles, er hätte heimlicherweise das königliche Verbot angeregt. Die Aufregung steigt von Minute zu Minute. Charles selbst ist über das plötzliche Verbot ganz konsterniert, er fürchtet, daß der enttäuschte Pöbel sich zu Gewalttaten hinreißen lassen könnte. In höchster Aufregung eilt er zum Minister Baron de Breteuil und erklärt ihm: „Meine Ehre steht auf dem Spiel! Ich schieße mir eine Kugel durch den Kopf, wenn ich meine Zusage nicht erfüllen kann!“ Das mannhafte Auftreten tut seine Wirkung. Der Minister bedauert, das Verbot nicht mehr rückgängig machen zu können, die Polizei werde aber „durch die Finger sehen“ und seiner Auffahrt kein Hindernis in den Weg stellen. Um eineinhalb Uhr nachmittag kündet ein Kanonenschuß an, daß die letzten Vorbereitungen zur Auffahrt getroffen werden. Ein zweiter Kanonenschuß erdröhnt. Der Ballon erhebt sich langsam und majestätisch in die Lüfte unter dem tosenden Jubel der Menge. Die ausgerückten Truppen präsentieren das Gewehr, die Offiziere salutieren. Es herrscht nahezu völlige Windstille, der Ballon steigt deshalb fast senkrecht empor.

Charles schildert die Empfindungen, welche ihn beim Verlassen der Erde bewegten, in begeisterten Worten. „Niemals wird etwas dem Augenblick von Freudigkeit gleich sein, der sich meiner bemächtigte, als ich fühlte, daß ich der Erde entfloh. Es war nicht Vergnügen, es

war Wonnegefühl. Glücklich entgangen den abscheulichen Qualen der Verfolgung und Verleumdung, fühlte ich, daß ich alles beantwortete, indem ich mich über alles erhob. Dieser moralischen Empfindung folgte bald eine andere noch lebhaftere, die Bewunderung des majestätischen Schauspiels, das sich uns darstellte. Auf welche Seite wir hinabschauten, war Kopf an Kopf, über uns ein Himmel ohne Wolke, in der Ferne die reizendste Aussicht von der Welt. Dem letzten meiner Verkleinerer hätte ich zurufen mögen: Da sieh, Unglücklicher, was man verliert, wenn man den Fortgang der Wissenschaft aufhält!"

Nach $2^1/_4$stündiger Fahrt erfolgt bei Nesles, 40 Kilometer vom Aufstiegsorte, die Landung bei fast völliger Windstille. Die Gondel setzt sanft auf und der Ballon bleibt senkrecht über ihr ruhig in Schwebe. Wir bezeichnen heute eine solche Landung als „Hofratslandung". Charles schreibt in seinem Fahrtberichte über die Landung: „Endlich erreichen wir den Boden. Man umringt uns. Nichts gleicht der ländlichen und biederen Naivität, den Ausdrücken der Bewunderung und dem Jubel aller dieser Dorfbewohner. Ich lasse die Honoratioren und die Gemeindevertretung bitten, auf das Feld zu kommen. Sie eilen von allen Seiten herbei. Es war gerade ein Fest im Orte. Ich setze sogleich ein kurzes Protokoll auf, das sie unterfertigen. Da sprengt in scharfem Galopp eine Schar von Kavalieren heran: es sind der Monsigneur Herzog von Chartres, der Herzog von Fitz-James und M. Farrer, ein liebenswürdiger Engländer, der uns von Paris aus gefolgt war. Durch einen merkwürdigen Zufall sind wir nahe dem Jagdhaus des letzteren gelandet. Er springt vom Pferde, schwingt sich in unsere Gondel und ruft, mich umarmend: „M. Charles, ich bin der erste!" Wir werden vom Prinzen mit Liebenswürdigkeiten überhäuft, er umarmt uns beide in der Gondel und hat die Güte, das Protokoll zu unterfertigen ... Ich erzähle dem Msgr. Herzog von Chartres kurz den Verlauf der Fahrt. „Das ist noch nicht alles, Monseigneur," füge ich lächelnd hinzu, „ich werde wieder abreisen." „Wie? abreisen?" Monseigneur werden sehen ... Wann wünschen Sie, daß ich wieder herabsteige?" „In einer halben Stunde." „Gut! Es sei, in einer halben Stunde bin ich wieder bei Ihnen." Robert verließ die Gondel und Charles stieg in der Tat allein auf. Man kann die Kühnheit dieses Mannes nicht genug bewundern!

Infolge der großen Entlastung schoß der Ballon in die Höhe „wie ein Pfeil". Charles hatte es unterlassen, an Stelle des Gewichtes seines Begleiters Ballast aufzunehmen. Dies ist auch der einzige Kunstfehler, den er auf der ersten Fahrt begangen hat. In weniger als zehn Minuten erreichte der Ballon eine Höhe von 2800 Meter. Charles schreibt über den zweiten Aufstieg: „... ich empfand im ersten Moment nichts Unangenehmes bei dieser plötzlichen Änderung der Dichtigkeit und Temperatur. Ich erhob mich in der Mitte der Gondel und gab mich dem Schauspiel hin, das mir die Unendlichkeit des Horizontes bot. Bei meiner Abfahrt von der Wiese war die Sonne für die Bewohner der Täler schon untergegangen; nach kurzem erhob sie sich für mich allein und vergoldete noch einmal mit ihren Strahlen die Kugel und die Gondel. Ich bin der einzige Körper am Horizont, der noch beleuchtet wird, und ich sehe über die ganze übrige Natur

Digitized by Google

die Schatten der Nacht gebreitet. Bald verschwindet auch die Sonne für mich, und ich habe das Vergnügen, sie zweimal am selben Tage untergehen zu sehen.“ Gefesselt durch den unbeschreiblichen Zauber, der sich seinen Augen bot, wurde Charles durch heftigen Schmerz im rechten Ohre aus seinen Träumen aufgeweckt. Er erinnert sich des Versprechens, das er dem Herzog von Chartres gegeben hat, zieht das Ventil und manövriert durch abwechselndes Ballastwerfen und Ventilziehen so geschickt, daß die Gondel sanft aufsetzt.

Von dem genannten Kunstfehler abgesehen, führte Charles beim ersten Aufstieg seinen Ballon schon so geschickt, als ob er bereits Dutzende von Fahrten hinter sich gehabt hätte. Man denke sich einen Neuling heute, nach 125 Jahren, allein in den Korb eines Ballons gestellt, um das Pathos der Distanz zu empfinden diesem Genie gegenüber! Die Landung erfolgte in einer Entfernung von etwa $4^1/_2$ Kilometer vom Orte der Zwischenlandung.

Die Fahrt erregte in Paris ungeheuere Sensation. Eine begeisterte Menge bereitete dem kühnen Physiker bei seiner Rückkehr nach Paris enthusiastische Ovationen. Seine Einfahrt glich einem Triumphzug. Die Akademie verlieh ihm den Titel eines supernumeraren (überzähligen) Mitgliedes. Der König gewährte ihm eine Pension von 2000 Pfund und bestimmte, daß sein Kopf neben dem Montgolfiers zu prägen sei auf die Medaille zur Erinnerung der Erfindung der Aerostaten. Charles hat sich diese Ehrungen redlich verdient. Er ist nicht ein bloßer Nachahmer Montgolfiers, sondern seine Arbeiten tragen in allen Details das Gepräge der Selbständigkeit und Originalität. Dies erhellt schon aus der Konstruktion seines Ballons. Sie ist bis zum heutigen Tage vorbildlich geblieben. Bis auf wenige Details weicht auch die Ausrüstung eines modernen Luftballons nicht erheblich ab von der Charlesschen Urform. Der Ballon hat also in dem $1^1/_4$ Jahrhundert, die seit seiner Erfindung verflossen sind, keine wesentlichen Verbesserungen mehr erfahren. Charles hat mit genialem Blick seinem Luftvehikel eine Form gegeben, die zu einem Typus geworden ist. Netzhemd, Ventil, Appendix, alle diese wichtigen Konstruktionsdetails hat Charles erfunden, er verwendete auch zuerst ein Barometer zur Bestimmung der Höhe und rüstete die Gondel mit Ballast und Anker aus. Von der Ausrüstung des modernen Ballons fehlt nur noch der Ring, die Schleppleine und die Reißbahn. Charles' Gondel hatte schiffchenförmige Gestalt, sie war mittels Seilen an einem um den Äquator laufenden Ring befestigt, der die Netzhaube um die obere Kugelhälfte des Ballons abschloß.

Der Italiener Lunardi wandte bei seinem im folgenden Jahre (1784) in London veranstalteten Aufstiege schon einen Ballon mit würfelförmiger Gondel aus Korbgeflecht an. Der Ring um den Äquator ist unter den Füllansatz gesetzt und stark verkleinert. Von ihm aus gehen nach oben zu die Auslaufsleinen des Netzes, nach unten zu die Korbstricke. Damit ist die Architektur des Ballons vollendet.

Charles baute seinen Ballon in Kugelform, Lunardi ging zur Birnform über, die dann fast ein Jahrhundert lang nahezu ausschließlich in Gebrauch stand. In neuerer Zeit ist man wieder zur Kugelform zurückgekehrt.

Digitized by Google

Weitere Entwicklung der Aerostatik. Das anfängliche Interesse der offiziellen wissenschaftlichen Kreise für den Ballon erlahmte bald, als sich zeigte, daß dieser in horizontaler Richtung nicht lenkbar gemacht werden konnte. Er ging dann für lange Zeit in die Hände von Artisten und Gauklern über, die in allen größeren Städten Europas Aufstiege veranstalteten. Sie nützten dabei die Schaulust des Publikums weidlich aus, das, durch pompöse Reklamen und allen möglichen Humbug angeregt, in Scharen herbeiströmte und sich um ein Billett „die Hälse brach". Da die Gelderwerbung bei diesen Aeronaut-Artisten Hauptsache war, setzten sie alles daran, die Nerven der Zuschauer aufzupeitschen. Als die gewöhnlichen Fahrten nicht mehr recht „zogen", führten sie Fallschirmabstürze ein, stiegen auf einem gezäumten Pferde reitend hoch usw. Von einer Verbesserung der Technik des Ballonfahrens, einer Vervollkommnung des Materiales, konnte unter diesen Umständen natürlich nicht die Rede sein. Man wird aber trotzdem den Aeronaut-Artisten nicht jedes Verdienst um die Förderung der Luftschiffahrt absprechen dürfen. Ohne ihre Tätigkeit wäre der Ballon allmählich vielleicht ganz in Vergessenheit geraten, als sich zeigte, daß er das erträumte Mittel zur zielsicheren Fortbewegung durch die Luft noch nicht darstelle. Das Erbe der Aeronaut-Artisten haben in neuester Zeit die wissenschaftlichen und sportlichen Aeronauten angetreten.

Schon ein Jahr nach der Erfindung des Luftballons führte der amerikanische Arzt Dr. Jeffries in Begleitung des berühmten Aeronaut-Artisten Blanchard von London aus eine wissenschaftlichen Zwecken gewidmete Ballonfahrt aus. Auf Antrag Laplaces betraute die Akademie der Wissenschaften in Paris 1804 die Physiker Gay-Lussac und Biot mit der Durchführung zweier wissenschaftlichen Ballonfahrten zur Anstellung von physikalischen Untersuchungen in großen Höhen, sowie des Studiums der Zusammensetzung der Luft und der meteorologischen Verhältnisse. Es wurden auch Beobachtungen über den physiologischen Einfluß des Aufenthaltes in großen Höhen angestellt. Barral und Bixio setzten 1850 diese Studien fort. In England führte Glaisher vom Jahre 1863 ab 28 rein wissenschaftlichen Zwecken gewidmete Ballonfahrten aus. Diese berühmten Aufstiege haben jahrzehntelang als Grundlage unserer Kenntnisse über die vertikale Temperaturverteilung der Atmosphäre gedient.

Auf Anregung Assmanns hat der „Deutsche Verein zur Förderung der Luftschiffahrt" vom Jahre 1887 ab 46 wissenschaftliche Ballonfahrten unternommen, welche die ersten zuverlässigen Beobachtungen der Lufttemperatur in verschiedenen Höhen lieferten und heute als Basis der Meteorologie der höheren Luftschichten gelten. Seit einer Reihe von Jahren finden, gemäß internationaler Verabredung, jeden Monat die „internationalen, simultanen Ballonfahrten" statt, bei denen regelmäßig auch bemannte Ballons hochgelassen werden.

Die wissenschaftlichen Fahrten haben auch das Aufblühen des Ballonsports wesentlich gefördert. Man fand allmählich, daß auch Luftreisen im gewöhnlichen unlenkbaren Kugelballon einen eigenartigen Reiz haben und großen Genuß bieten, wenn man sich nicht kapriziert, gerade an einem vorher bestimmten Orte zu landen. Durch die Grün-

Digitized by Google

dung von Luftschiffervereinen wurden dem Ballonsport immer neue Freunde zugeführt. Deutschland allein zählt gegenwärtig fast zwei Dutzend von Luftschiffervereinen mit etwa fünftausend Amateuraeronauten.

Neben der wissenschaftlichen und sportlichen kommt noch die militärische Aeronautik in Betracht. Fast sämtliche Kulturstaaten besitzen gegenwärtig eigene aeronautische Truppenkörper, welche sich mit der militärischen Verwendung des Luftballons (Frei- und Fesselballons) befassen. Die Behandlung der meteorologischen, sportlichen und militärischen Aeronautik fällt außerhalb des Rahmens dieses Buches. Wer eingehendere Belehrung über diese Anwendungsgebiete der Aeronautik wünscht, muß auf die reichhaltige Literatur verwiesen werden, insbesondere auf die Arbeiten der Militäraeronauten Oberstleutnant Moedebeck, Hauptmann Hinterstoisser, Major Groß, Major Hoernes, Major Parseval u. a. Im folgenden soll bloß auf einige der wichtigsten Punkte in möglichster Kürze hingewiesen werden. Zur raschen Übersicht kann die kurze, aber sehr lichtvolle Darstellung von Hauptmann Neumann empfohlen werden: „Die Militärluftschiffahrt der Gegenwart“ in Löbell's Jahresberichten über das Heer- und Kriegswesen 1907.

Wissenschaftliche Luftschiffahrt. Der Ballon ist gegenwärtig zu einem der wichtigsten Forschungsmittel der Meteorologie geworden. Es hat sich ergeben, daß die Beobachtungen an der Erdoberfläche allein nicht hinreichen zum Verständnis der Vorgänge in der Lufthülle der Erde. Die bewegende Kraft aller Veränderungen in der Atmosphäre sind die Temperaturverschiedenheiten in gleichen Höhen und die Temperaturverteilung in der Vertikalen. Temperaturunterschiede in gleichen Horizontalflächen erzeugen Druckunterschiede, diese haben wegen der leichten Beweglichkeit der Luft Ausgleichsströmungen (Winde) zur Folge. Von der Richtung, Stärke und Dauer der Winde hängt wieder die Änderung des Witterungsverlaufes an einem bestimmten Orte der Erdoberfläche ab. Auch die gleichzeitig herrschenden Temperaturunterschiede in verschiedenen Höhen derselben Lotlinie können Anlaß geben zu Bewegungen innerhalb der Atmosphäre, zur Verlagerung von Luftmassen. Die Kenntnis der gleichzeitigen Temperaturverteilung in der Lotlinie an verschiedenen Orten der Erdoberfläche ist deshalb von größter Bedeutung für die Physik der Atmosphäre.

Man ist mit bemannten Ballons bereits über zehn Kilometer Höhe in den Luftozean vorgedrungen. Am 31. Juli 1901 beobachteten Berson und Süring in 10.200 Meter Höhe eine Lufttemperatur von 40 Grad unter Null. Der Aufstieg erfolgte in einem Ballon von 8400 Kubikmeter Inhalt, der mit 5400 Kubikmeter Wasserstoffgas gefüllt wurde.

Die berühmten Berliner Ballonfahrten ergaben für die unteren vier Kilometer eine mittlere Temperaturabnahme von 0·5 Grad pro 100 Meter. Nach oben zu wird die Abnahme größer und erreicht bei 9 Kilometer den Betrag von 0·9 Grad. Die mittlere Lufttemperatur sinkt in zwei Kilometer Höhe auf Null Grad, erreicht in vier Kilometer — 10 Grad und in 8 Kilometer rund — 40 Grad.

Auch zum Studium des elektrischen Zustandes der Luft hat man

Digitized by Google

den Ballon verwendet. In neuester Zeit sind auch Astronomen in den Ballonkorb gestiegen, zur Beobachtung der Sternschnuppenschwärme und der totalen Sonnenfinsternisse.

Eine große Zukunft scheint noch der wissenschaftlichen Ballonphotographie insbesondere für kartographische und geodätische Zwecke beschieden zu sein.

Sportliche Luftschiffahrt. Im letzten Dezennium hat sich namentlich in Deutschland und Frankreich ein regelrechter Ballonsport entwickelt. Man kam allmählich darauf, daß die Fortbewegung durch Luft im gewöhnlichen Kugelballon so vielfache Anregung bietet und so reich an eigenartigen Eindrücken ist, daß man für die keineswegs sehr erheblichen Kosten einer Ballonfahrt reichlich entschädigt wird. Im Laufe der letzten 10 Jahre wurden in Frankreich und Deutschland allein gegen 1000 Vergnügungsluftfahrten ausgeführt. In Deutschland bestehen augenblicklich nahe an die zwanzig aeronautische Vereine mit etwa 5000 Mitgliedern. Die Hauptzentren des Ballonsports sind derzeit Paris und Berlin. Auch in London, in Rom, Wien, Budapest, Brüssel usw. wurden Aeroklubs gegründet, die die Durchführung von sportlichen Ballonfahrten als Hauptpunkt ihres Programmes hinstellten. Viele dieser Vereine haben aber infolge ihrer ungünstigen Lage mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen. Jeder Vergnügungsluftschiffer möchte ja möglichst lange Fahrten machen und möglichst weit kommen. Bei Ballonfahrten von London und Rom aus ist man aber bald am Meere, in New York kann man bei überlandigen Winden kaum einen Aufstieg wagen. Ein intensiver Luftsport kann sich deshalb nur in kontinentalen Ländern entwickeln.

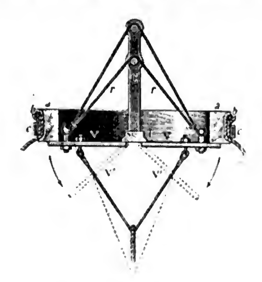


Fig. 33. Ballonventil.

Gewöhnliches Klappenventil zur Gasentleerung für Kugelballons *a a* Holzring, der mittels Stricken *b* und Riemen *c* gasdicht an die Hülle fixiert ist. *V V* zwei Klappen, die sich um Charniere nach unten drehen. Über den Steg *C* starke Kautschukkordeln *r r* oder auch ein breites Gummiband gespannt ist, wodurch die Klappen gasdicht an den Rand angedrückt werden. An den beiden Klappen sind nach unten zu Schnüre fixiert, die in eine Leine, die Ventilleine zusammenlaufen. Die Ventilleine läuft bis zum Korb hinab. Durch kräftiges Anziehen öffnen sich die Klappen und nehmen die Lage *V*, *V'* an. Das Gas entweicht durch die entstehenden Öffnungen.

Sportaeronauten haben, durch gleichförmige und dauernde Luftströmungen begünstigt, schon Strecken von nahezu 2000 Kilometer ohne Zwischenlandung zurückgelegt und sich über 50 Stunden ununterbrochen in der Luft gehalten. De la Vaulx stieg am 9. September 1900 mit Castillon de Saint Victor in einem mit Wasserstoff gefüllten Ballon von 1600 Kubikmeter in Paris auf und landete nach $35^3/_4$ stündiger Fahrt bei Korostischew in Rußland. Die zurückgelegte Distanz beträgt, gemessen in der geodätischen Linie, 1925 Kilometer.

Digitized by Google

Die Brüder Dr. Wegener hielten sich bei einer am 5. April 1905 von Berlin aus unternommenen Fahrt ununterbrochen 52½ Stunden in der Luft und landeten in England. Um den spezifischen Reiz einer Ballonfahrt zu empfinden, ist es aber nicht nötig, nach derartigen Rekordfahrten zu streben. Wer das Glück gehabt hat, auch nur eine Stunde im Korbe eines Freiballons verweilt zu haben, wird diese gewiß zu den schönsten seines Lebens zählen. Es ist wohl kaum möglich, dem Nichtluftschiffer eine auch nur einigermaßen zutreffende Vorstellung von den Eindrücken einer Fahrt im Luftballon zu geben. Die Wollust des Fliegens läßt sich nicht durch Worte schildern.

Bei den bloß zum Vergnügen ausgeführten Fahrten, wo man über Tag und Stunde der Auffahrt frei verfügen kann, verschwindet auch das geringste Risiko, wenn man mit einem erprobten Ballonführer aufsteigt. Die Kosten einer Ballonfahrt sind derzeit keineswegs unerschwinglich hoch. Für Mitglieder des Berliner Vereines kostet z. B. die Teilnahme an einer Fahrt nicht mehr als 75 Mark. Samt den Spesen für die Rückfahrt werden die Kosten demnach 100 Mark nicht überschreiten.

Wem es aus irgendeinem Grunde für immer versagt sein muß, je den Fuß in den Korb eines Ballons zu setzen, der sei auf das Buch des deutschen Professors Dr. Johannes Poeschel „Luftreisen" (Leipzig 1908) verwiesen. Wenn die Lektüre auch den unmittelbaren sinnlichen Eindruck nicht ersetzen kann, werden die glänzenden Schilderungen eines begeisterten Amateurs dem Leser doch reichen Genuß bieten. „Möchten diese Zeilen dazu beitragen, solche aufzuklären und zu bekehren, die in der Luftschifferei noch immer nichts weiter als einen müßigen und gefährlichen Sport erblicken, möchten sie ihr neue Freunde und Anhänger gewinnen, zu deren eigener Befriedigung und Freude". (Poeschel.)

Technik des Kugelballons.

Der moderne Ballon. Seine Herstellung und Ausrüstung. Jeder Ballon besteht aus drei Teilen: dem kugelförmigen Tragkörper samt Ausrüstung, der Gondel samt Zubehör und der Vorrichtung zur Verbindung beider. — Der Tragkörper ist fast ganz in ein Netz mit rautenförmigen Maschen eingeschlossen. Diese endigen in Leinen, den Auslaufleinen, welche an den Enden Ösen (Schlaufen) tragen. Der Tragkörper besitzt drei Öffnungen; zwei davon sind kreisrund, die eine am obersten Teil der Kugel, die andere diametral gegenüber liegend. Die obere Öffnung ist durch das Ventil verschlossen. Dieses besteht aus einer Klappe, die durch Ziehen an einer Leine, der Ventilleine, von der Gondel aus geöffnet werden kann. Hört der Zug auf, so wird die Klappe durch Spiralfedern wieder automatisch geschlossen. An die untere Öffnung ist ein kurzer beiderseits offener Leinwandsack der Füllansatz (Appendix), angesetzt. Das untere Ende des Füllansatzes ist an einem Holzring fixiert, an dessen Umfang mehrere Schnüre befestigt sind, die in eine Leine auslaufen, die Appendixleine. Das Ende derselben reicht bis zur Gondel. Durch Ziehen daran kann man

Digitized by Google

verhindern, daß der Füllansatz sich einstülpt. Die dritte Öffnung der Hülle ist schlitzförmig; sie reicht vom Ventil bis nahe zum Äquator. Auf den Ausschnitt ist ein passender Stoffstreifen geklebt oder genäht, die Reißbahn. An dem oberen Ende dieses Streifens ist eine Leine befestigt, die Reißleine, welche bis zur Gondel führt. Durch kräftiges Ziehen daran kann die Reißbahn losgelöst werden, wodurch eine klaffende Öffnung im Ballon entsteht. — Die Gondel hat würfelförmige Form und ist aus festem Korbgeflecht hergestellt. In die Seiten- und Bodenwände sind starke Seile, die Korbleinen, eingeflochten, die über den Oberrand vorstehen und an den Enden Knebel tragen. Zur Ausrüstung des Korbes gehören weiters Säcke aus Segelleinwand für den Ballast, der in Form von feinem Sand mitgenommen wird, dann die Taschen zur Aufnahme des Proviants und der Karten, sowie ein Verpackungs-

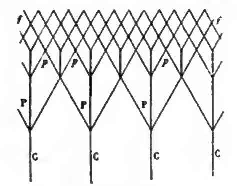


Fig. 34. Ballonnetz.

Unterer Abschluß des Ballonnetzes, *f* Netzrauten, *p* die kleinen Gänsefüße, *P* die großen Gänsefüße, *C* Auslaufsleinen. Diese endigen in Holzknebel, welche in Ösen am Ring fixiert werden.

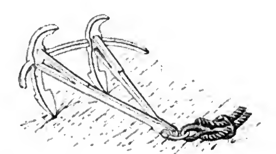


Fig. 35. Ballonanker nach Hervé.

Die Militäraeronauten in Deutschland und Österreich fahren gegenwärtig ständig ohne Anker. Die Landung wird ausgeführt, indem die Reißbahn im Momente des Auftreffens der Gondel am Boden geöffnet wird.

plan zum Einschlagen der Hülle und endlich noch ein langes schweres Seil, das Schleppseil (Schleifleine). Im Korbe sind auch die Enden der drei Leinen fixiert: der Ventilleine, der Reißleine und der Appendixleine.

Die Verbindung zwischen Tragkörper und Korb erfolgt durch ein meist aus kreisförmigen Holzlamellen zusammengesetztes Fixierungsorgan, den Ring. Dieser trägt zwei Reihen von Ösen an kurzen Leinen. Die oberen dienen zur Fixierung der Knebel der Auslaufsleinen des Netzes, in die untere Ösenreihe sind die Knebel der Korbleinen eingesetzt. Am Ring ist auch das eine Ende des Schleppseiles befestigt, das schleifenartig zusammengewunden über die Wände des Korbes gelegt ist, oder „ausgelegt“ vom Ring senkrecht hinabhängt. Die komplette Ausrüstung eines Ballons kann in den Korb verpackt werden.

Zur Herstellung der Ballonhülle verwendet man gewöhnlich dichte und feste Gewebe aus Seide oder Baumwolle (Perkale). Ein kugelförmiger Tragkörper kann am bequemsten aus Zwickeln, sphärischen Zweiecken, zusammengesetzt werden, die durch zwei Pole gehen und durch größte Kugelkreise begrenzt sind. Ein solcher Zwickel, eine Bahn, wird in natürlicher Größe auf Pappe gezeichnet. Man findet seine Form durch einfache Berechnung oder auch durch eine graphische Konstruktion.

Digitized by Google

Soll der Tragkörper ein bestimmtes Volumen erreichen, so ist damit auch schon Größe und Form des Zwickels festgelegt. Die Länge der Bahn ist gleich dem halben Umfange der Kugel. Ihre größte Breite ist durch die Stoffbreite gegeben. Es bleibt nun noch die Bestimmung des Verjüngungsmaßes des Zwickels gegen die Enden zu.

Denkt man sich eine Kugel durch Meridian- und Parallelkreise geschnitten, so erkennt man leicht, daß die Verjüngung eines Meridiangrades gegen die Pole zu durch die Abnahme des Umfanges der Parallelkreise gegeben ist. Diese werden im Verhältnis des Kosinus der Breite kleiner. Die Länge eines Bogens von einem Grad auf der Oberfläche der Ballonkugel ist schon durch den Umfang bestimmt. Man trägt die Länge der Bogengrade auf der Schablone vom Äquator gegen die beiden Pole zu auf. Durch Multiplikation der Bahnbreite am Äquator mit dem Kosinus der Gradwinkel zwischen Null und Neunzig erhält man die Breite des Zwickels in den entsprechenden Gradabständen vom Äquator. Nun hat man die Schablone der Bahn und kann nach ihr den Stoff zuschneiden. Die einzelnen Bahnen werden der ganzen Länge nach zusammengenäht. Man kann die Kugel auch aus den zonenförmigen Streifen, die zwischen zwei Parallelkreisen liegen, zusammensetzen. Jede Zone wird in diesem Falle aus trapezförmigen Stücken bestehen. Bei dieser Teilung wird der Stoffverschnitt, der bei der Zwickelteilung sehr erheblich werden kann, wesentlich herabgedrückt. Noch größer wird die Ökonomie des Stoffverbrauches, wenn man die Kugel als sphärischen Würfel behandelt. Finsterwalder hat komplizierte Einteilungen nach dem Rhombendodekaeder oder nach dem Rhombentriakontaeder angegeben, die bloß einen Verschnitt von fünf bis zwei Prozent geben. — Die beiden Pole werden durch Aufnähen kreisrunder Kappen verstärkt. Nach Fertigstellung der Hülle wird diese mehrmals mit Leinölfirnis überstrichen, um sie gasdicht zu machen. Diese gefirnißten Ballons haben den Nachteil, daß sie nach wiederholtem Firnissen bei höherer Temperatur stark klebrig werden. Sie sind in Deutschland und Österreich fast ganz durch die Gummiballons verdrängt worden. Bei diesen erfolgt die Dichtung in der Weise, daß mittels heißer Walzen eine dünne Gummischicht auf den Stoff gebracht wird. Auf die Gummischicht wird dann eine zweite Stoffschicht gewalzt. Der Gummi zersetzt sich unter der Einwirkung des Lichtes langsam. Man schützt ihn durch Gelbfärbung der äußeren Stoffschichte.

Vor jeder Auffahrt wird die Hülle durch einen Ventilator mit Luft so weit aufgeblasen, daß sie eine Halbkugel bildet. Man kann nun durch den Füllansatz in das Innere des Ballons hineinkriechen und diesen auf seine Dichtigkeit untersuchen. Jedes noch so kleine Loch, jede Undichtheit der Hülle zeigt sich durch ihre Lichtdurchlässigkeit an. Alle schadhaften Stellen werden ausgebessert. Dann dreht man den Ballon um und untersucht die zweite Hälfte in der gleichen Weise. Ebenso werden Netz, Ventil, Reißbahn, Leinen, kurz die gesamte Ausrüstung des Ballons einer sorgfältigen Prüfung auf ihre Zuverlässigkeit unterzogen.

Die Füllung. Die Ballonhülle wird halbkreisförmig auf dem Boden ausgebreitet, so daß das Ventil nach oben liegt. Über die Hülle legt man das Netz und fixiert dieses mit Lederriemen am Ventil-

Digitized by Google

kranz. Der nach unten zu liegende Füllansatz wird hervorgezogen und mit dem Gaszuführungsrohr verbunden. Erfolgt die Füllung mit Leuchtgas, so wird der Füllschlauch unmittelbar an ein starkes Leitungsrohr angesetzt. Man hat dann bloß den Hahn aufzudrehen und rauschend strömt das Gas in den Ballon. Die Hülle bauscht sich alsbald nach oben auf. Nun werden an die Maschen des Netzes in gleicher Distanz vom Ventil ringsherum Sandsäcke eingehackt. In dem Maße, als die

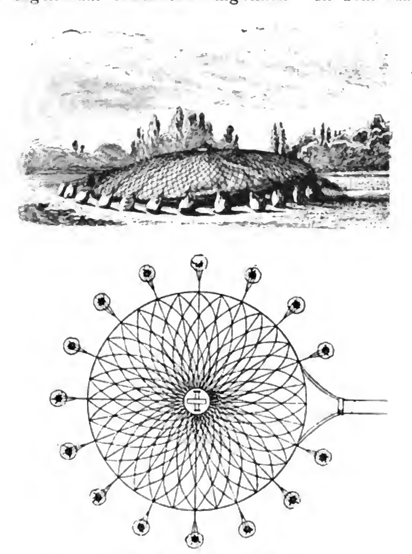


Fig. 36. Ballonfüllung.

Ballonhülle rund ausgebreitet, oben in der Mitte das Ventil; über die Hülle das Netz gebreitet und mittels Sandsäcken ringsum belastet. Der Füllansatz seitlich hervorgezogen und mit dem Gaszuführungsrohr verbunden.

Füllung fortschreitet, werden die Säcke immer um eine Masche tiefer gehängt, bis man zu den kleinen Gänsefüßen gelangt. Diese bilden den Abschluß des Netzes. Die Rauten sind so gelagert, daß die längere Diagonale in der Richtung zum Ventil liegt. Je drei aufeinanderfolgende Maschen lösen sich zunächst in folgender Weise in eine auf: Die äußeren Seiten der beiden Außenmaschen sind verlängert bis zum Schnittpunkte; von diesem führt eine Verbindungsschnur zum unteren Eckpunkte der Mittelmasche. Sie stellt die Diagonale der Mittelmasche

Digitized by Google

dar, deren innere Seiten weggelassen sind. Die beiden Außenseiten und die Diagonale bilden die kleinen Gänsefüße. Je drei aufeinanderfolgende kleine Gänsefüße lösen sich in analoger Weise in einen großen Gänsefuß auf. Die beiden äußeren Schrägseiten werden bis zum Schnittpunkte verlängert. Die verlängerte Mittelseite des zwischenliegenden kleinen Gänsefußes gibt die dritte Seite des großen Gänsefußes.

Von den kleinen Gänsefüßen hackt man schließlich alle Säcke in die großen Gänsefüße ein und vermehrt, falls nötig, die Zahl der Säcke. Die Füllung wird fortgesetzt, bis der Ballon straff voll erscheint. Sowie dies der Fall ist, sperrt man den Gaszufluß ab, trennt den Füllschlauch vom Appendix und bindet diesen, um Gasverluste zu verhindern, zu. Nun werden die Leinen, welche von den großen Gänsefüßen ausgehen, die Auslaufleinen, an die oberen Knebel des Ringes fixiert, ebenso die unteren Knebel in die Schlaufen der Korbleinen eingehängt. Der Korb ist bereits mit allem Zubehör ausgerüstet und mit so viel Sandsäcken versehen, daß der Ballon ihn sicher nicht abheben kann. Man entfernt hierauf die Sandsäcke von den großen Gänsefüßen und läßt den Ballon an den Auslaufleinen langsam höher, bis diese sowie auch die Korbleinen gespannt sind. Bei Windstille in Bodennähe schwebt der Ballon senkrecht über dem Korb, bei Wind macht er heftige Schwingungen.

Das Auflassen. Bevor der Ballon hochgelassen wird, muß er „ausgewogen" werden. Die Luftschiffer besteigen den Korb und machen sich fahrtbereit. Gehilfen drücken den Korb gegen Boden, um zu verhindern, daß dieser bei einem unvermuteten Auffrischen des Windes oder bei einem Windstoß losgerissen werde. Der Führer schafft nun so viele Sandsäcke aus dem Korb, daß dieser eben vom Boden abgehoben wird. Auf Zuruf des Führers lassen die Gehilfen einen Augenblick den Korb frei, halten ihn aber auf ein zweites Kommando sofort wieder fest. Dieser Vorgang, das Auswiegen, wird, wenn nötig, mehrmals wiederholt, bis der Ballon nach dem Freilassen sich langsam abhebt. Durch Abgeben von Ballast kann der Führer den Aufstieg beschleunigen.

Bei starkem Winde muß der Aufstieg rasch, also mit großem freien Auftriebe erfolgen, um möglichst schnell über gefährliche Hindernisse, Bäume, Schornsteine u. dgl. wegzukommen. Sowie der Ballon einmal über die bodennahe Schichte hinaus ist, spielt die Windgeschwindigkeit für den Luftschiffer keine Rolle mehr.

Im Korbe des Luftballons gibt es keinen Wind, auch im stärksten Orkan nicht. Man kann diese selbstverständliche Tatsache nicht oft genug wiederholen. Auch ein Schaukeln der Gondel tritt nicht ein. Beim Fahren im Luftballon hat noch niemand die Seekrankheit bekommen.

Die Fahrt. Es hängt ganz vom Zwecke der Ballonfahrt ab, welche Maßnahmen der Führer zu treffen hat. Handelt es sich um eine Vergnügungsfahrt, einen kurzen Luftbummel mit Neulingen, so wird er den Ballon so tief als möglich halten. Der Anfänger bringt ja zunächst das größte Interesse den Vorgängen an der Erdoberfläche entgegen. In ein paar hundert Meter Höhe kann man noch alle Details an der Erdoberfläche auch mit unbewaffnetem Auge gut unter-

Digitized by Google

scheiden. Die Führung braucht sich deshalb bloß darauf zu beschränken, zu verhindern, daß der Ballon der Erdoberfläche zu nahe kommt.

Bald nach dem Auflassen legt man gewöhnlich die Schleppleine aus. Diese hängt vom Ring in einer Länge von 100 bis 120 Meter lotrecht hinab und bildet gleichsam einen Fühler, der den Luftschiffer vor unerwünschten Berührungen mit der Erdoberfläche rechtzeitig warnt und auch schützt. Das Auflegen der Schleifleine kann man vom Korbe aus leicht wahrnehmen. Der Führer wird durch das Auflegen der Leine aufmerksam gemacht, daß sich sein Fahrzeug in der kritischen Distanz von der Erdoberfläche befindet. Wenn Gefahr besteht, auf unerwünschte Hindernisse zu stoßen, genügen meist ein paar Hände voll



Fig. 37. Füllung eines Kugelballons.
Füllung vollendet. Ballastsäcke hängen an den großen Gänsefüßen.
(Nach einer Originalphotographie.)

Ballast, um das Hindernis zu nehmen. Ist man vor jeder Karambolage sicher, so kann man den Ballon ruhig weiter fallen lassen, denn der Fall wird meist automatisch gebremst durch das Auflegen des Schleifseiles. Das Stück des Schleifseiles, welches sich auf die Erde aufgelegt hat, entlastet um sein Gewicht den Ballon, denn dieses wird jetzt von der Erdoberfläche getragen. Die Sinkgeschwindigkeit wird infolge dieser zunehmenden Belastung rasch gebremst und der Ballon kommt in einer gewissen Höhe ins Gleichgewicht, er pariert sich aus. Droht keinerlei Gefahr und ist man auch sicher, keinen Schaden anzurichten, so kann man nun längere Zeit auf der Schleifleine fahren.

Die mächtige Luftblase zu Häupten der Luftschiffer, stellt ein außerordentlich empfindliches Gasthermometer dar. Jede Erwärmung dehnt das Füllgas aus, es entweicht Gas durch den Füllansatz, der Auftrieb steigt im selben Maße. Ein Sonnenblick genügt, das Füllgas so viel zu erwärmen, daß der dadurch entstehende Überschuß an Auftrieb hinreicht, den Ballon wieder von der Schleifleine abzuheben. Jede Wolke drückt dagegen den Ballon schon merklich nieder. Die Fort-

Digitized by Google

schleifung der Leine besorgt bei der Fahrt auf der Schleifleine der Wind. Die dazu nötige Arbeit wird auf Kosten der Windenergie geleistet. Die Folge ist, daß bei aufliegendem Schleifseile, namentlich wenn dieses eine erhebliche Reibung an der Erdoberfläche findet, die Fluggeschwindigkeit des Ballons nicht mehr gleich ist der Windgeschwindigkeit, sondern kleiner wird als diese. Es ist darum in der Gondel Wind verspürbar. Je stärker die Bremsung ist, um so intensiver wird der Korbwind. Auch in größeren Höhen tritt oft vorübergehend Korbwind auf; dieser deutet auf den Übergang in eine Luftschichte von anderer Richtung hin. Droht Gefahr, daß das Schleppseil sich festschlingen könnte, etwa bei der Fahrt über einen Wald, und ist bei völlig bedecktem Himmel keine Aussicht, durch die Sonne abgehoben zu werden, so opfert man ein paar Hände voll oder auch einen Sack Ballast, um höher zu kommen.

Der Ballast bildet das Lebenselement des Ballons. Sowie dieser bis auf einen eisernen Bestand, den Landungsballast, ausgegeben ist, wird auch die schöne Luftreise bald ein Ende nehmen müssen. Der Ballast ist der Talisman, der den Luftschiffer gegen die Wirkung der unerbittlichen Schwerkraft feit. Er muß deshalb möglichst sparsam umgehen mit seinem Sandvorrate und sich beim Auswerfen jeder Handvoll denken, es wären Diamanten, die er da zur Erde streut.

Die Landung. Ist aller Ballast bis auf den Landungsballast über Bord gegangen, so müssen die Vorbereitungen für die Landung getroffen werden. Man orientiert sich nach der Karte, erkundet durch ausgeworfene Fahnen die Windrichtung in Bodennähe und sucht sich ein geeignetes Landungsterrain aus. In Laienkreisen herrscht vielfach noch immer die Meinung vor, weil der Kugelballon nicht lenkbar ist, sei man auch außerstande, sich den Landungsort auszuwählen. Dies ist nicht richtig. Ein geübter Luftschiffer kann an jedem beliebigen Orte, der in der Richtung seines Kurses liegt, landen. In lotrechter Richtung ist ja auch der unlenkbare Kugelballon durch Ventil und Ballast sehr leicht steuerbar.

Hat der Führer ein günstiges Landungsterrain: Brachfelder oder Wiesen gefunden und hält er es für notwendig, rasch niederzugehen, wird durch Ziehen an der Ventilleine das Ventil eine halbe Minute oder länger geöffnet. Das entweichende Gas vermindert den Auftrieb und der Ballon gerät bald in eine absteigende Bewegung. Durch das Aufsetzen der Schleifleine wird der Fall erheblich gebremst. Genügt dies nicht, den Ballon ins Gleichgewicht zu bringen, so werden noch ein oder zwei Säcke Ballast ausgeworfen. Man kann dadurch den Ballon meist abfangen, so daß der Korb ohne jeden Stoß auf den Boden aufsetzt. Bei Windstille bleibt in diesem Falle der Ballon über dem Korb ruhig in Schwebe. Will einer der Luftreisenden aussteigen, so brauchen die Zurückbleibenden bloß für sein Gewicht Sand einzunehmen und können die Fahrt wieder fortsetzen. Herrscht stärkerer Wind in Bodennähe, dann ist es freilich mit einer derartigen Zwischenlandung nichts. In diesem Falle wird vom Führer, sowie der Korb nur noch ein paar Meter über dem Boden schwebt, durch Ziehen an der Reißleine die Reißbahn abgelöst, die Ballonhülle erhält eine klaffende Öffnung, durch welche das Füllgas in wenigen Sekunden entweicht.

Digitized by Google

Der Korb setzt mit leichtem Anprall auf dem Boden auf, wird umgeworfen, und ehe noch die Kraft des Windes voll zur Wirkung gekommen ist, liegt meist auch schon die entseelte Hülle vor uns. Unter ungünstigen Verhältnissen kann es wohl auch zu einer kurzen Schleifung kommen.

Ernstere Unfälle sind aber seit der allgemeinen Anwendung der Landung ohne Anker und bloß mit der Reißleine bei reinen Vergnügungsfahrten so selten geworden, daß das Risiko als verschwindend klein angesehen werden kann. Früher, wo die Landung mit Anker und Ventil durchgeführt werden mußte, war der Sicherheitskoeffizient freilich erheblich kleiner.



Fig. 38. Füllung eines Kugelballons.
Ballonkorb wird suspendiert. (Nach einer Originalphotographie.)

Nach der Landung. Sowie die Hülle entleert ist, erheben sich die Luftschiffer aus der Gondel und sehen sich nach Hilfskräften um, die meist in genügender Zahl vorhanden sind, da ja der Ballon gewöhnlich schon von weitem gesehen wird. Hülle und Netz werden kunstgerecht zusammengelegt und in den Korb verpackt. Dann geht es zur nächsten Bahnstation und der erste Zug bringt die Luftschiffer wieder heimwärts.

Dies ist in Kürze der mechanische Verlauf einer normalen

Digitized by Google

Ballonfahrt, die lediglich zu Vergnügungszwecken unternommen wird. Sportfahrten, bei denen ein Rekord aufgestellt oder gebrochen werden soll, und wissenschaftliche Fahrten verlaufen freilich nicht immer so glatt und müssen überhaupt mit einem anderen Maße gemessen werden.

Eine Fahrt über den Kanal oder über die Ostsee, eine Luftreise von tausend und mehr Kilometer Länge ist natürlich etwas anderes, als eine Bummelfahrt zum bloßen Vergnügen. Derartige Sportfahrten stellen darum ganz andere Anforderungen an den Aeronauten, als bloß Lustreisen und bedingen natürlich auch einen wesentlich höheren Gefährlichkeitsgrad. Dasselbe gilt für die wissenschaftlichen Hochfahrten. Da weiß der Luftfahrer aber von vornherein, daß er sein Leben in die Schanze schlägt und wenn einmal ein Unfall sich ereignet, so darf man diesen dann nicht der Luftschiffahrt im allgemeinen aufs Kerbholz schreiben.

Gleichgewichts- und Bewegungsgesetze des Ballons. Jeder feste Körper übt auf seine Unterlage einen Druck aus. Wenn wir einen Stein auf die Handfläche legen, merken wir den Druck unmittelbar. Daß auch die atmosphärische Luft ein Körper ist, lehrt uns auch die alltägliche Erfahrung. Diese läßt aber von einem Druck gegen die Unterlage nichts erkennen. Eine einfache Überlegung führt uns jedoch zur Erkenntnis, daß auch die atmosphärische Luft ein Gewicht haben muß. Wäre dies nicht der Fall, so hätten wir eben gar keine Atmosphäre mehr, diese hätte sich allmählich in den Weltraum verflüchtigt. Der Druck der Atmosphäre gegen die Erdoberfläche wird erst unmittelbar erkennbar, wenn er nur e i n s e i t i g zur Wirkung kommt.

Wir nehmen ein zylindrisches Gefäß, das auf der einen Seite abgeschlossen ist. In dem Gefäße läßt sich ein Kolben, luftdicht an die Innenwand anliegend, mittels einer Stange verschieben. Wir stellen den Zylinder auf den Boden, stemmen die Füße gegen zwei Stützen am Gefäß und versuchen nun den Kolben hinabzudrücken. Wir spüren einen Gegendruck. Die Körperlichkeit der Luft macht sich augenscheinlich sichtbar. Je weiter wir den Kolben hinabdrücken, um so stärker wird der Gegendruck. Wir bohren nun in die Bodenwand des Zylinders eine Öffnung und schieben den Kolben hinab, bis er an die Bodenwand anliegt. Hierauf verschließen wir die Öffnung durch einen luftdichten Pfropf. Versuchen wir jetzt den Kolben hoch zu ziehen, so merken wir einen erheblichen Gegenzug. Ist die Fläche des Kolbens etwa gleich einem Quadratdezimeter, so erfordert das Hochziehen des Kolbens einen Zug von rund 100 Kilogramm oder 1 Kilogramm pro 1 Quadratzentimeter der Bodenfläche. So groß ist also der Druck der Luft am Grunde der Atmosphäre.

Stellen wir den Zylinder horizontal und versuchen die Kolbenstange herauszuziehen, werden wir den gleichen Zug aufwenden müssen. Desgleichen, wenn wir den Zylinder umkehren, so daß die Kolbenstange lotrecht nach unten gerichtet ist. Wird das Gefäß entsprechend fixiert und die Kolbenstange nach unten gezogen, ist dazu wieder der gleiche Zug notwendig. Daraus entnehmen wir, daß es für die Größe des Druckes gleichgültig ist, nach welcher Richtung die gedrückte Fläche gelagert ist. Die gasförmigen (und bekanntlich auch

Digitized by Google

die tropfbarflüssigen) Körper üben nicht bloß nach unten, sondern auch nach den Seiten, überhaupt nach allen Richtungen den gleichen Druck aus. Dieser kann deshalb nur dort unmittelbar erkennbar werden, wo er einseitig wirkt.



Fig. 39. Vorbereitungen zum Aufstieg eines Kugelballons.

Der Korb, in dem drei Passagiere bereits Platz genommen haben. Neben dem Korb steht der Führer M. E. Carton, der hervorragende französische Aeronaut und Leiter der berühmten Pariser Ballonwerkstätte Lachambre. Figur zeigt deutlich die Gondelausrüstung, die außerhalb des Korbes aufgehängten Ballastsäcke und die Schleppleine, sowie die Verbindung des Korbes vermittelst des Ringes mit den Auslaufsleinen des Netzes. (Nach einer Originalphotographie.)

Entferne ich die Grundplatte des Zylinders, so ist (die Kolbenstange mag nach welcher Richtung immer orientiert sein) zur Verschiebung des Kolbens kein merklicher Zug mehr erforderlich. Die Atmosphäre drückt jetzt auf beide Seiten des Kolbens und die beiden

Digitized by Google

Drucke halten, da sie von gleicher Größe sind, einander das Gleichgewicht. Mit welchem Rechte bezeichnen wir nun aber den Zug, der zum Herausziehen des Kolbens unseres geschlossenen Zylinders nötig ist, als den Druck der Atmosphäre? Wenn wir den gleichen Versuch auf einem Berge ausführen, finden wir, daß der Zug, der zum Herausziehen des Kolbens nötig ist, geringer wird. Er wird um so kleiner, je höher wir steigen. In 3000 Meter ist der Zug schon um den dritten Teil kleiner geworden. Wir beobachten also, daß der Zug um so kleiner wird, je mehr wir uns der oberen Grenze der Atmosphäre nähern. Es liegt deshalb nahe, den Zug, der zum Herausziehen unseres Kolbens oder, was dasselbe besagt, der zur Erzeugung eines luftfreien Raumes nötig ist, in Beziehung zu bringen zur Höhe der Atmosphäre und ihn als Druck der Luftsäule zu bezeichnen.

Wir nehmen jetzt ein würfelförmiges Gefäß von ein Kubikmeter Inhalt. Mittels einer Luftpumpe versuchen wir die Luft aus dem Gefäß auszupumpen. Wenn die Wände nicht aus starken Panzerplatten hergestellt sind, werden sie alsbald eingedrückt sein; denn der Druck der Luft würde ja gegen jede Seite des Würfels den Betrag von 10.000 Kilogramm erreichen, wenn es gelänge, diesen ganz luftleer zu pumpen. Wir nehmen an, die Wände des Würfels wären in der Tat so fest konstruiert, daß dieser luftleer gepumpt werden kann. Da das Innere des Würfels luftfrei ist, besteht einseitiger Druck und der Druck der Luft kommt also gegen a l l e Wände voll zur Wirkung. Die Drucke gegen je zwei gegenüberliegende Seitenwände halten einander das Gleichgewicht, da sie ja gleich groß sind. Es bleibt nun noch die Druckwirkung gegen die obere und untere Seitenwand zu betrachten. Werden diese auch gleich sein? Die Luftsäule, welche gegen die untere Seitenwand drückt, ist um die Höhe des Würfels länger als die Drucksäule gegen die obere Seitenwand. Diese beiden Drucke können sich also n i c h t das Gleichgewicht halten. Es wirkt ja ein Überdruck nach oben, der gleich ist dem Drucke einer Luftsäule von der Höhe des Würfels. Am Grunde der Atmosphäre übt ein Luftwürfel von 1 Kubikmeter Inhalt einen Druck von rund 1·3 Kilogramm auf die Unterlage aus. Um diesen Betrag ist also der Druck gegen die untere Würfelfläche größer als jener gegen die obere. Wir nennen diese Kraft den Auftrieb. Seine physikalische Ursache ist ersichtlich einzig und allein das Gewicht der Luft.

Wir lassen jetzt durch Aufdrehen eines in der unteren Seitenwand angebrachten Hahnes in unseren Würfel Wasserstoffgas einströmen. Ist der Würfel ganz mit Gas gefüllt, so kann man den Hahn auch offen stehen lassen. Es wird dann weder Luft in den Behälter einströmen, noch Gas ausfließen. Schneiden wir in die Bodenwand eine kreisförmige, beliebig große Öffnung und verschließen diese wieder durch einen luftdicht passenden Kolben, so kann dieser beliebig dünn genommen werden, er kann aus feinstem Blech hergestellt sein, ohne daß er durch den Druck der Luft eingedrückt würde. Wo ist nun die Kraft, welche dem Luftdruck das Gleichgewicht hält? Diese liegt in dem Gegendruck des eingefüllten Gases. Der Wasserstoff wird durch den Druck der Luft so lange zusammengedrückt, bis sein Gegendruck pro Flächeneinheit gleich geworden

Digitized by Google

ist dem Luftdruck. Wir haben ja schon bei unserem ersten Versuche gesehen, daß man durch Zusammendrücken einer abgesperrten Gasmenge jeden beliebigen Gegendruck erzeugen kann. Was von dem ausgeschnittenen Stück der Bodenwand gilt, hat auch für die ganze Unterseite des Würfels Giltigkeit. Dem Drucke der Luft gegen die ganze Unterseite hält der Gegendruck des abgesperrten Gases das



Fig. 40. Aufstieg eines Kugelballons.

Der Ballon wird ausgewogen. Alle Passagiere samt dem Führer haben im Korbe Platz genommen. Hilfskräfte halten den Korb fest. Es wird so lange Ballast ausgegeben, bis der Korb ohne Druck am Boden aufruht, der Ballon ist dann ausgewogen. Bei der geringsten weiteren Ballastausgabe hebt sich der Ballon ab. Man läßt den Ballon je nach den Umständen mit einem freien Auftriebe von 10 bis 20 *kg* oder auch weniger auf. Füllansatz ist noch zugebunden. Die Öffnung erfolgt erst unmittelbar vor dem Aufstieg. (Nach einer Originalphotographie.)

Gleichgewicht. Alles, was von den Druckverhältnissen gegen die untere Bodenwand ausgesagt wurde, gilt in ganz gleicher Weise auch von vier Seitenwänden und von der oberen Wand des Würfels. Das Füllgas drückt gegen die obere und die untere Würfelwand gleich stark. Die Luft übt jedoch, wie wir schon wissen, gegen die untere Würfelseite einen Überdruck aus, der gleich ist dem Gewichte einer Luftsäule

Digitized by Google

von der Würfelhöhe. Das eingefüllte Gas besitzt auch ein Gewicht. Es übt deshalb auf die untere Wand des Würfels einen Druck aus gleich seinem Gewichte. Auf die Unterseite wirkt also nach oben der Gewichtsüberdruck der Luftsäule, der Auftrieb, nach unten der Gewichtsdruck des Füllgases. Der Auftrieb der Luft wird demnach um das Gewicht des Füllgases vermindert. Der verbleibende Auftriebsrest stellt dann den resultierenden Auftrieb der Luft in bezug auf das bestimmte Füllgas dar, man bezeichnet ihn, indem man diese Beziehung auf die Luft als selbstverständlich voraussetzt und bloß das Füllgas nennt, kurz als „Auftrieb des Füllgases". Da 1 Kubikmeter atmosphärische Luft unter gewöhnlichen Verhältnissen 1·3 Kilogramm wiegt, das gleiche Volumen chemisch reines Wasserstoffgas unter den gleichen Verhältnissen aber bloß 0·089 Kilogramm, bleibt ein Auftriebsrest der Luft gegen Wasserstoff von rund 1·2 Kilogramm. So groß ist also der „Auftrieb des Wasserstoffgases". Ist das Gas unrein, so sinkt dieser auf 1·1 Kilogramm. Wir wollen dafür, wo es auf größere Genauigkeit nicht ankommt, als runde Zahl 1 Kilogramm setzen. Der Auftrieb wirkt dem Gewichtsdruck des Gasbehälters direkt entgegen und vermindert diesen folglich um seinen ganzen Betrag. Da einseitiger Atmosphärendruck gegen unseren Würfel jetzt nicht mehr zur Wirkung kommt, indem dieser, wie wir fanden, durch den Gegendruck des Füllgases kompensiert wird, ist es auch nicht nötig, die Wände unseres Würfels aus Panzerplatten herzustellen. Wir können dazu dünnes Blech nehmen, ja es ist gar nicht nötig, die Wände aus einem steifen Material zu bauen, wir können auch Gewebsstoffe, selbst gasdichtes Papier, verwenden. Es wird darum nicht schwer sein, eine Hülle zu finden, deren Gewicht kleiner ist als der Auftrieb des Füllgases.

Die prinzipielle Möglichkeit der Aerostatik lag also eigentlich nicht in der Entdeckung eines „leichten Gases", denn jedes Gas, auch das „leichteste" aller Gase, der Wasserstoff, hat ja noch immer ein bestimmtes Gewicht, das den Auftrieb der Luft vermindert. Ein größerer Auftrieb, als die Luft einem völlig luftfreien Raume, einem Vakuum, gegenüber zeigt, d. i. rund 1·3 Kilogramm pro Kubikmeter, ist in unserer Atmosphäre ja überhaupt nicht erzielbar. Nicht die Leichtigkeit des Füllgases, sondern die Ausschaltung des Atmosphärendruckes bildete deshalb das Hauptproblem. Die Aerostatik verdankt nur dem Umstande ihre Möglichkeit, daß der Gasdruck vom Gewichtsdruck des Gases unabhängig ist. Durch Verringerung seines Volumens kann dieselbe abgeschlossene Gasmenge, ohne Änderung ihres Gewichtes, erheblichen Druckänderungen unterworfen werden. Ein in einem Behälter aus nicht starren Wänden eingeschlossenes Gasquantum wird durch den Atmosphärendruck soweit zusammengedrückt, bis der Gegendruck des Gases gleich geworden ist dem Luftdruck. Man kann deshalb der Schwierigkeit der Herstellung eines Vakuums, das außerordentlich kräftige und deshalb auch schwere Gefäße bedingt, dadurch entgehen, daß man das Vakuum mit einem Gase ausfüllt, dessen Spannung dem Atmosphärendruck das Gleichgewicht hält, ohne jedoch den Auftrieb der Luft erheblich zu schmälern. Statt den Behälter mit einem luftfremden Gas zu füllen, können wir auch die in ihm enthaltene Luft erwärmen und dadurch einen Auftrieb erzielen. Erwärmt man ein

Digitized by Google

abgesperrtes Luftquantum, so tritt erfahrungsgemäß ein Überdruck der eingeschlossenen Luft gegen die Außenluft auf, ihr Druck wird größer als der Atmosphärendruck. Eine schlaffe Blase bläht sich und zerspringt, wenn wir sie über einem Herde stark erwärmen. Wir schließen die Öffnung an der Unterseite unseres Würfels und hängen diesen auf einen Herd. Die abgesperrte Luftmenge wird sich erwärmen. Sind die Wände aus dünnem Blech oder aus Gewebsstoff, so beobachten wir bald ein Ausbauschen derselben. Dies zeigt uns an, daß von innen nach außen ein Überdruck wirkt. Was wird geschehen, wenn wir den Hahn an der Unterseite jetzt öffnen? Da im Innern des Würfels ein Überdruck gegen die Außenluft besteht, wird ein Teil der erhitzten Luft ausströmen, und zwar so lange, bis der innere Überdruck verschwunden und dieser wieder gleich dem Atmosphärendruck geworden ist. Die Wände des Würfels haben dann wieder keinen Überdruck auszuhalten. Da Luft von innen nach außen entwichen ist, muß jetzt in unserem Behälter weniger Luft enthalten sein, als vor der Anwärmung. Das Luftgewicht wird aber geringer sein als ein gleiches Volumen nichterwärmter Außenluft. Die Innenluft kann somit den Luftauftrieb, der gleich ist dem Gewichte einer Luftsäule von der Würfelhöhe bei der Temperatur der Außenluft, nicht mehr kompensieren, da ihr Gewicht ja geringer geworden ist. Der Überschuß des Auftriebes der Außenluft über den Gewichtsdruck der erwärmten Innenluft gibt den freien Auftrieb der erwärmten Luft. Die auf diese Weise praktisch erzielbaren Auftriebswerte sind aber vergleichsweise zum Gasauftrieb bei Wasserstoff oder Leuchtgasfüllung gering. Erhitzen wir die Innenluft auf 100 Grad und öffnen dann den Hahn, so strömt, bis der Druckausgleich erreicht ist, etwas weniger als der vierte Teil des Würfelinhaltes, also $^1/_4$ Kubikmeter, aus. Die verbleibende Innenluft von Atmosphärendruck und 100 Grad Temperatur wird also nur mehr 0·9 Kilogramm wiegen. Da der Auftrieb der nichtangewärmten Außenluft, wie wir schon wissen, nahe 1·3 Kilogramm beträgt, ergibt sich ein Auftrieb der heißen Luft von rund 0·4 Kilogramm. Verwendet man die genaueren Zahlen, so findet man den noch kleineren Wert 0·347 Kilogramm, d. i. nahe $^1/_4$ des Auftriebes von Wasserstoff und etwas weniger als die Hälfte des Auftriebes von Leuchtgas.



Fig. 41.
Eine Fahrt im Kugelballon.
Ballon frei in der Luft.
(Nach einer Originalphotographie.)

Erfahrungsgemäß dehnt sich jedes Gas bei der Erwärmung um ein Grad um den 273. Teil, d. i. um 0·4 Prozent seines Volumens aus; im selben Maße wird auch dessen Gewicht und somit auch der Auf-

Digitized by Google

trieb kleiner. Füllen wir unseren Würfel mit einem anderen Gase, etwa mit Wasserstoff oder Leuchtgas, und erwärmen dieses, so nimmt also bei der Temperaturzunahme pro Grad der Auftrieb um 0·4 Prozent zu, bei der Abkühlung um ein Grad wird er im selben Maße kleiner, denn bei der Abkühlung wird das Gasvolumen kleiner, seine Luftverdrängung sinkt im selben Maße und folglich auch der Auftrieb.

Statt den Behälter bei geschlossenem Hahn anzuwärmen, kann man diesen von vornherein offen halten. Ja, man kann auch eine größere Öffnung in der Bodenwand anbringen. In dem Maße, als der Druck der erwärmten Luft zunimmt, wird durch die Öffnung warme Luft ausströmen, so daß kein erheblicher Überdruck gegen die Seitenwände des Behälters entsteht. Die Wände unseres Würfels können deshalb wieder aus einem leichten Stoffe hergestellt sein. Ist der Gewichtsdruck der Hülle gleich dem Auftrieb des Füllgases, so wird er durch diesen kompensiert; der Würfel übt dann keinen Druck gegen die Unterlage aus. Wird der Auftrieb größer als das Gewicht der Hülle, so besteht ein Überdruck nach oben. Dieser bewirkt, daß der Würfel sich von der Unterlage abhebt und aufsteigt. Wie weit wird er steigen? Mit zunehmender Erhebung wird die Länge der drückenden Luftsäule geringer, der Luftdruck nimmt ab, im selben Maße wird auch das Gewicht des Luftvolumens unseres Würfels kleiner, infolgedessen auch der Auftrieb der Luft. Der Luftauftrieb eines völlig luftfreien Behälters müßte demnach bei der Erhebung im selben Maße wie der Luftdruck geringer werden. Mit zunehmender Höhe wird deshalb der Überschuß des Luftauftriebes über das Hüllengewicht ständig kleiner werden. Sowie der ständig abnehmende Luftauftrieb auf den Betrag des Gewichtsdruckes der Hülle gesunken ist, halten die auf- und abtreibenden Kräfte einander das Gleichgewicht und der Würfel hört auf, weiter zu steigen. Die erreichte Höhe stellt den maximalen Wert dar, der in unserer Atmosphäre überhaupt erreichbar ist für einen Körper von der Dimension und dem Gewichte unseres Würfels. Füllen wir den Hohlraum mit welchem Gase immer aus, so wird dadurch das Gewicht des schwebenden Systems vermehrt, der Würfel kann sich deshalb nur bis zu einer geringeren Höhe erheben. Diese wird um so kleiner sein, je größer das Gewicht des Füllgases ist. Ist das Gewicht der Hülle unseres Würfels und das Füllgas gegeben, so können wir leicht die maximale Steighöhe desselben bestimmen. Wir brauchen bloß die Höhe ausfindig zu machen, in der der Luftauftrieb gleich wird dem Hüllengewichte. Da der Luftauftrieb im selben Maße abnimmt wie der Luftdruck und die Abnahme des Luftdruckes gesetzmäßig mit der Höhe erfolgt, ist jedem gegebenen Luftauftrieb ein bestimmter Luftdruck und diesem wieder eine bestimmte Höhe zugeordnet. Bei ruhender Atmosphäre ist der Druck der Luft gegen eine Seite unseres Würfels gleich dem Gewichtsdrucke der darüber lastenden Luftsäule bis an die Grenze der Atmosphäre. Wir wollen damit jene Entfernung von der Erdoberfläche bezeichnen, in welcher der Druck und somit auch das Gewicht der Luft für die hier in Betracht kommenden Verhältnisse als verschwindend klein angesehen werden kann. Nach welchem Ge-

Digitized by Google

setze nimmt der Luftdruck nun mit der Höhe ab? Wir haben den Luftdruck bisher durch den Zug oder das Gewicht angegeben, das nötig ist, um mittels unseres einseitig geschlossenen Zylinders ein Vakuum zu erzeugen. Wir können den Luftdruck aber auch durch die Länge einer Flüssigkeitssäule messen, welche durch ihn (entgegen ihrem Gewichtsdrucke) in Schwebe gehalten wird. Nach Wegnahme des Deckels unseres im vorausgehenden betrachteten Zylinders bringen wir diesen in ein Gefäß mit Quecksilber, so daß die Unterseite des Kolbens unter den Flüssigkeitsspiegel eingetaucht ist. Ziehen wir jetzt den Kolben hoch, so entsteht unter diesem vorerst kein Vakuum, sondern das Quecksilber folgt dem Kolben nach. Erst wenn die Höhe der Quecksilbersäule den Betrag von rund 760 Millimeter erreicht hat,

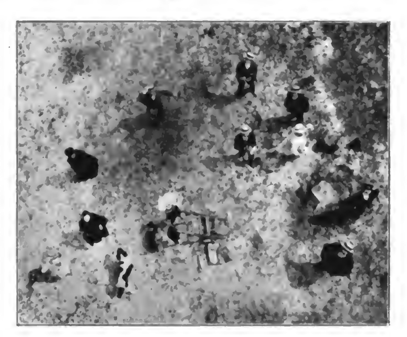


Fig. 42. Eine Fahrt im Kugelballon.
Während der Fahrt. Die Erde aus der Luftschifferperspektive. Aufnahme senkrecht von oben. (Nach einer Originalphotographie.)

reißt sie plötzlich ab. Ziehen wir den Kolben noch höher, so entsteht unter ihm jetzt ein Vakuum, die Höhe der Quecksilbersäule ändert sich aber nicht mehr, wie hoch wir auch den Kolben ziehen mögen. Da jeder freie Körper so tief als möglich sinkt, muß eine Kraft da sein, welche dem Gewichtsdruck der gehobenen Quecksilbersäule das Gleichgewicht hält. Wo ist diese Kraft zu suchen? Es ist der Luftdruck, der das Quecksilber in das unter dem Kolben entstehende Vakuum hineintreibt, da er bloß einseitig zur Wirkung kommt, indem der Druck gegen die Oberseite des Kolbens durch den Zug der Hand aufgehoben wird. Wir können nun leicht den Gewichtsdruck der gehobenen Quecksilbersäule auf ein Quadratzentimeter berechnen. Ein Kubikzentimeter Quecksilber wiegt rund 13·6 Gramm; multiplizieren wir dies mit der Höhe der Säule, d. i. 76 Zentimeter, so erhalten wir den Wert 1033 Gramm oder rund ein Kilogramm. Ebenso groß muß der Luftdruck gegen eine Fläche von ein Quadratzentimeter sein.

Digitized by Google

Obige Zahl stimmt genau mit der schon früher angegebenen. Wir haben nun in der Höhe der Quecksilbersäule ein einfacheres und bequemeres Mittel zur Messung des Luftdruckes. Aus den Niveauänderungen der Kuppe entnehmen wir auch sogleich die Änderungen des Luftdruckes. Wir können nun leicht beobachten, wie hoch wir mit unserem Druckmesser steigen müssen, damit die Kuppe der Säule um ein Millimeter kürzer wird. Erheben wir uns von der Erdoberfläche, so müssen wir rund 10·5 Meter uns erheben, wenn unser Barometer ein Millimeter sinken soll. Das Gewicht einer Luftsäule von 10·5 Meter entspricht also in der Nähe der Erdoberfläche einer Quecksilbersäule von ein Millimeter Höhe. Wegen der Verkürzung der drückenden Luftsäule mit der Erhebung nimmt auch die barometrische Höhenstufe, d. i. die Strecke, um welche man steigen muß, damit der Druck um ein Millimeter sinkt, mit wachsender Erhebung zu; folgende Zahlen zeigen das Maß der Änderung:

Höhe, *m*	0	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
Barom. Höhenstufe, *m*	10	12	13	15	17	19	22
Höhe, *m*	7.000	8.000	9.000	10.000			
Barom. Höhenstufe, *m*	25	28	32	36			

In 10 Kilometer Höhe sinkt der Luftdruck auf 200 Millimeter, in 20 Kilometer auf 40 Millimeter und in 50 Kilometer würde die Quecksilbersäule auf weniger als ein Millimeter fallen.

Der Luftdruck ist in den außertropischen Zonen erfahrungsgemäß auch am selben Orte recht erheblichen Schwankungen unterworfen. Mit der Druckzunahme wächst auch das Gewicht der Volumeinheit Luft im selben Maße und damit auch der diesem gleiche Luftauftrieb. Unser Würfel wird also bei höherem Luftdruck auch einen größeren Auftrieb zeigen als bei niederem Barometerstande. Eine Druckzunahme von ein Millimeter Quecksilber bedingt eine Auftriebszunahme pro Kubikmeter um 0·1 Prozent. Druckänderungen von 5 Prozent des Normalstandes von 760 Millimeter, d. i. von 38 Millimeter, kommen zwischen der kälteren und wärmeren Jahreszeit in außertropischen Breiten nicht selten vor. Diese bedingen auch Änderungen des Auftriebes von 5 Prozent; das gibt bei Wasserstoffüllung eine Änderung des Auftriebes von rund 55 Gramm pro Kubikmeter. Wir wollen nun noch sehen, welchen Einfluß Änderungen der Lufttemperatur auf den Auftrieb haben. Steigt die Lufttemperatur in den bodennahen Schichten, so wird deren Druck höher, sie dehnen sich deshalb aus, bis der Überdruck wieder ausgeglichen ist. In der Volumeinheit ist deshalb weniger Luftmasse vorhanden, das Luftgewicht nimmt ab. Im selben Maße sinkt auch der Luftauftrieb. Pro ein Grad Temperaturzunahme wird das Luftgewicht erfahrungsgemäß um 0·4 Prozente kleiner, in gleichem Maße nimmt auch der Luftauftrieb ab. In mittleren Breiten treten zwischen Sommer und Winter Temperaturdifferenzen bis zu 60 Grad und darüber auf. Diese Temperaturvariationen bedingen Auftriebsänderungen bis zu 20 Prozent.

Die atmosphärische Luft ist bekanntlich ein Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff. Diese beiden Gase sind vollkommen gemischt, so daß auch jeder kleinste Volumteil die beiden Gase im gleichen Verhältnisse enthält, nämlich 21 Prozent Sauerstoff und 79 Prozent Stick-

Digitized by Google

stoff. Für aeronautische Zwecke genügt es, die Luft als gasförmigen Körper zu betrachten, ohne auf deren Zusammensetzung Rücksicht nehmen zu müssen. Zu den ständigen Beimengungen der Atmosphäre gehört auch der Wasserdampf, der bis zu vier Volumprozente erreichen kann. Sauerstoff und Stickstoff können in jedem Verhältnisse miteinander gemischt werden. Jedes der beiden Gase behält auch in der Mischung seine individuelle Existenz fort und steht unter seinem eigenen Druck, unabhängig vom Vorhandensein des andern. Wasserdampf läßt sich mit den beiden Luftgasen erfahrungsgemäß aber nicht in jedem beliebigen Verhältnis mischen. Jedes Gas kann



Fig. 43. Ballonphotographie.

Ansicht des oberösterreichischen Städtchens Eferding aus 650 *m* Höhe über dem Boden. Aufnahme Sr. k. u. k. Hoheit Erzherzog Heinrich Ferdinand. (Nach einer Originalphotographie.)

unterhalb einer gewissen Temperatur durch bloße Druckerhöhung in den flüssigen Zustand übergeführt, kondensiert werden. Sauerstoff und Stickstoff sind erfahrungsgemäß bei Temperaturen oberhalb — 118, beziehungsweise — 146 Grad durch keinen noch so großen Druck kondensierbar. Wasserdampf kann aber bis zu Temperaturen von 365 Graden durch bloße Druckerhöhung kondensiert werden. Für jede Temperatur gibt es einen bestimmten Druckwert, bei dessen Eintritt der Wasserdampf unter seinem eigenen Druck sich kondensiert. Es ist deshalb auch nicht möglich, der Luft mehr Wasserdampf beizumengen, als der maximalen Dampfspannung für die vorhandene Temperatur entspricht. Ist z. B. die Lufttemperatur 20 Grad, so kann ein Kubikmeter Luft nicht mehr als 11 Gramm Wasserdampf aufnehmen.

Digitized by Google

Versuchte man der Luft mehr Wasserdampf beizumischen, so würde die Spannung des Dampfes über 17 Millimeter steigen müssen. Dies ist aber nicht möglich, da dann der überschüssige Dampf sich unter seinem eigenen Druck kondensiert und ausfällt. Bei 30 Grad Lufttemperatur erreicht die Gewichtsdifferenz zwischen trockener und gesättigt feuchter Luft bloß 18 Gramm, d. i. weniger als 2 Prozent, bei 0 Grad sinkt die Differenz auf 3 Gramm pro Kubikmeter. Bei einer Lufttemperatur von — 10 Grad beträgt die Auftriebsverminderung in gesättigt feuchter Luft nur mehr ein Gramm. Sowie die Lufttemperatur erheblich unter Null sinkt, kann deshalb der Einfluß des Wasserdampfgehaltes auf den Auftrieb ganz vernachlässigt werden. Zu den weiteren Beimengungen der Luft, die für die Aeronautik in Betracht kommen können, wären die Verunreinigungen durch Rauch, Staub, Nebel und Wolken. Der Stäubchengehalt der Atmosphäre erreicht in der Nähe der Erdoberfläche und namentlich in großen Städten meist sehr erhebliche Werte. Es können bis zu einer halben Million Stäubchen pro Kubikzentimeter vorkommen. Verunreinigte Luft ist schwerer als völlig stäubchenfreie, es kann deshalb auch von einem Auftrieb der Wolken im streng aerostatischen Sinne eigentlich nicht die Rede sein. Die Wolkenelemente müssen dauernd sinken, sie werden aber wegen ihrer außerordentlichen Kleinheit nur sehr geringe Fallgeschwindigkeiten erreichen. Diese ist wesentlich abhängig von der Oberfläche und dem Verhältnis des Querschnittes des Körpers zu seinem Gewichte, der sogenannten Flächenbelastung. Die Fallgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Flächenbelastung rasch ab.

Teilen wir einen Würfel von ein Zentimeter Seitenlänge durch Schnitte parallel zu den Seitenflächen in 8 Teile und legen diese nebeneinander, so ist der Querschnitt und die Oberfläche verdoppelt worden ohne Änderung des Gewichtes. Die Flächenbelastung ist auf die Hälfte gesunken. Wir wollen nun jede Würfelkante in 1000 Teile teilen und wieder Schnitte parallel den Seitenflächen legen. Dadurch erhalten wir 1 Million Würfelchen von 0·01 Millimeter Seitenlänge. Die Querschnittfläche aller zusammen beträgt 1,000.000 × 0·0001 = 100 Quadratzentimeter oder 0·01 Quadratmeter, die Oberfläche aller Würfelchen zusammen ist sechsmal so groß, also 0·06 Quadratmeter. Das Gewicht ist das gleiche geblieben, die Querschnittsfläche ist tausendmal so groß geworden, die Flächenbelastung darum auf den tausendsten Teil gesunken. Die Wassertröpfchen der Wolkenelemente sind nicht würfelförmig, sondern haben Kugelform. Auch für die Kugel gilt aber der Satz, daß bei der Teilung in kleinere Elemente, von denen alle Kugelform haben, die Oberfläche und der Querschnitt der Summe aller fortwährend wächst. Der Durchmesser der Nebeltröpfchen beträgt nach Messungen 0·006 bis 0·02 Millimeter. Die größte Fallgeschwindigkeit eines Tröpfchens von 0·01 Millimeter Durchmesser kann ein Zentimeter in der Sekunde nicht überschreiten, denn bei dieser Sinkgeschwindigkeit wird die Hemmung, welche das Tröpfchen infolge der Reibung der Luft an seiner Oberfläche, bzw. an dem dieser anhaftenden Lufthäutchen erfährt, gleich dem Gewichtsdrucke des Wasserkügelchens. Dieses wird scheinbar gewichtslos und kann

Digitized by Google

folglich auch keine Änderung seiner Geschwindigkeit mehr erfahren. Zum Durchfallen einer Höhe von 100 Meter würden die betrachteten Tröpfchen über $2^3/_4$ Stunden brauchen. Man ersieht daraus, daß die Sinkbewegung der Wolken so langsam erfolgt, daß man sie durch direkte Beobachtungen kaum feststellen könnte. Daß das Vorhandensein der Wassertröpfchen der Wolken einen Einfluß auf den Auftrieb der Wolkenluft haben muß, wissen wir schon. Sie müssen auftriebsvergrößernd wirken. Das Maß der Vergrößerung wird abhängen von der Masse der Wassertröpfchen in der Volumseinheit. Die gesamte Wassermenge in dichten Wolken beträgt erfahrungsgemäß etwa



Fig. 44. Ballonphotographie.

Ansicht von Autherig aus 600 *m* Seehöhe. Aufnahme Sr. k. u. k. Hoheit Erzherzog Heinrich Ferdinand. (Nach einer Originalphotographie.)

5 Gramm pro Kubikmeter. Um diesen Betrag nimmt also der Auftrieb der Wolkenluft zu. In Höhen über 3000 Meter entspricht diese Auftriebszunahme rund ein Prozent. Der Einfluß der Wolkenluft auf den Auftrieb ist also nicht sehr erheblich, aber doch merklich. Wir haben bisher den Einfluß der Zusammensetzung der Atmosphäre, der Druck- und Temperaturänderungen auf den Auftrieb der Luft der Art und auch dem Maße nach kennen gelernt. Es bleibt nun noch die Betrachtung der Wirkung der Temperaturverteilung in lotrechtem Sinne. Denken wir uns an einem windstillen Tage in der Nähe der Erdoberfläche einen Würfel von ein Kubikmeter aus der Atmosphäre herausgeschnitten. Auf die obere Seite der gedachten Würfelwand wirkt von oben her der Druck der darüber lastenden Luftsäule, von unten der Gegendruck der Luft des Würfels. Beide Drucke sind gleich

Digitized by Google

groß und heben einander auf. Auf die untere Seite der gedachten Würfelwand wirkt von oben das Gewicht der Würfelluft, von unten der Druck einer Luftsäule, welche um die Würfelhöhe länger ist als die gegen die Oberseite drückende Säule. Beide Drucke sind wieder gleich und heben deshalb einander auf. Es besteht also weder auf die Ober- noch auf die Unterseite ein Überdruck. Das Gewicht der Würfelluft wird durch den Überdruck gegen die Unterseite gerade kompensiert. Der gedachte Luftwürfel wird also scheinbar gewichtlos. Sein Gewicht wird von der ihn umgebenden Luft getragen. Dieses Gleichgewicht der Luft im lotrechten Sinne wird aber sofort gestört, wenn die Temperatur der Luft nicht mehr, wie bisher vorausgesetzt wurde, unveränderlich ist. Wäre die in unserem Würfel abgegrenzte Luft höher temperiert als die Luft der Umgebung, so würde ihr Gewicht nicht mehr hinreichen, den Druck gegen die Unterseite zu kompensieren. Die kältere und darum schwerere Luft würde deshalb die wärmere und leichtere Würfelluft nach oben drängen. Steigt die im Würfel abgegrenzte wärmere Luft auf, so kommt sie unter niedrigeren Druck, sie dehnt sich dabei aus, bis ihr Druck gleich dem der Umgebung geworden ist. Diese Volumvergrößerung bedingt die Leistung einer gewissen Arbeit. Es muß der auf den Seiten unseres gedachten Würfels lastende Luftdruck auf einer bestimmten Strecke überwunden werden. Wir denken uns alle Seiten bis auf eine starr, und diese durch einen Kolben verschlossen. Infolge des Überdruckes der abgesperrten Luft wird der Kolben entgegen dem äußeren Luftdrucke herausgedrückt werden, bis der Überdruck sich ausgeglichen hat. Die Arbeit, welche zur Überwindung des äußeren Luftdruckes nötig ist, wird auf Kosten des Wärmeinhaltes der Würfelluft geleistet. Die Temperatur der Luft im Würfel nimmt deshalb ab. Die Abnahme beträgt pro 100 Meter Erhebung rund ein Grad. Die Temperatur der Atmosphäre ist nach oben nicht konstant, sondern nimmt erfahrungsgemäß mit zunehmender Höhe ab. Das Maß der Abnahme ist abhängig von Zeit und Ort. Gleichgewicht kann in der Atmosphäre in lotrechtem Sinne nur bestehen, wenn die Temperaturabnahme pro hundert Meter, der Gradient, den Grenzwert von ein Grad nicht überschreitet. Nimmt die Temperatur nach oben hin rascher ab, so wird, wenn wir uns wieder einen Würfel von ein Kubikmeter aus der Atmosphäre herausgeschnitten denken, dieser durch den geringsten Anstoß in eine aufsteigende Bewegung geraten. Infolge seiner höheren Temperatur wird er durch die kältere und darum schwerere Luft der Umgebung in die Höhe gedrückt. Wegen der Volumsvergrößerung nimmt die Temperatur der Würfelluft, wie wir gesehen haben, pro hundert Meter Erhebung um ein Grad ab. Ist der Gradient größer als ein Grad, so kommt die aufsteigende Würfelluft in jeder Höhe wärmer an als die Luft der Umgebung, und wird von dieser deshalb ununterbrochen einen Auftrieb erhalten, der sie fortdauernd nach oben treibt. Diese Steigbewegung dauert fort, bis der Luftkörper in eine Region kommt, wo der Gradient gleich wird ein Grad. Sowie dies der Fall ist, verschwindet der Temperaturüberschuß gegen die Umgebung und damit auch der weitere Impuls zur Steigbewegung. Bei Gradienten gleich ein Grad ist die Atmosphäre im lotrechten Sinne im sog. kon-

Digitized by Google

vektiven Gleichgewicht. Schneiden wir aus ihr in irgendeiner Höhe einen Würfel heraus, so können wir diesen beliebig nach oben oder unten verschieben, er wird in jeder Höhe mit der umgebenden Luft gleiche Temperatur besitzen und deshalb mit ihr im Gleichgewicht sein, er wird weder einen Impuls zum Steigen noch zum Sinken erhalten. Wird der Gradient größer als ein Grad, so tritt labiles Gleichgewicht ein. Unser Luftwürfel wird jetzt in keiner Höhe mit der umgebenden Luft im Gleichgewichte sein; immer wird diese kälter sein und deshalb einen Auftrieb besitzen, wodurch der Bewegungsimpuls fortdauert. Hat der Würfel einen Antrieb zur absteigenden Bewegung



Fig. 45. Ballonlandung.

Im Korbe in der Mitte Se. k. u. k. Hoheit Erzherzog Josef Ferdinand, in der Ecke Hauptmann Hinterstoißer, Kommandant der Militär-aeronautischen Anstalt (Wien). Fahrt vom 10. Mai 1908. Aufnahme Sr. k. u. k. Hoheit Erzherzog Heinrich Ferdinand, der auch an der Fahrt teilnahm. (Nach einer Originalphotographie.)

erhalten, so kann auch diese von selbst nicht zur Ruhe kommen. Sinkt der Würfel um hundert Meter, so nimmt seine Temperatur wegen der jetzt eintretenden Volumsverminderung (umgekehrt wie beim Aufstieg) um ein Grad zu; die Temperaturzunahme nach unten in der Atmosphäre ist aber, nach der Annahme, größer als ein Grad pro hundert Meter. Der sinkende Würfel kommt also in jeder Höhe kälter an als die Luft der Umgebung und der Impuls zu absteigender Bewegung dauert fort. Ist die Temperaturabnahme kleiner als ein Grad pro hundert Meter, so herrscht stabiles Gleichgewicht. Heben wir unseren Luftwürfel hundert Meter höher, so nimmt seine Temperatur infolge der Volumszunahme um ein Grad ab, die Abnahme der Lufttemperatur ist aber nach der Voraussetzung weniger als ein Grad. Unser Würfel kommt also kälter an als die Luft der Um-

Digitized by Google

gebung und muß wieder auf sein früheres Niveau sinken, sowie wir ihn freilassen. Bringen wir den Luftwürfel hundert Meter tiefer, so nimmt seine Temperatur infolge der Volumsverminderung um ein Grad zu, die Lufttemperatur steigt aber um weniger als ein Grad. Der Würfel kommt deshalb wärmer als die Luft der Umgebung. Durch den dadurch entstehenden Luftauftrieb wird der Würfel wieder auf seine frühere Höhe getrieben. Das Gleichgewicht ist also stabil, denn jede Verschiebung des Würfels bringt diesen in die ursprüngliche Lage wieder zurück. Bei stabilem Gleichgewicht können Bewegungen im lotrechten Sinne bloß durch äußere Kräfte angeregt und unterhalten werden. Wird das Gleichgewicht labil, so genügen geringe Impulse, um Bewegungen von Luftmassen im lotrechten Sinne auszulösen. Es besteht in diesem Falle die Tendenz zu auf- oder niedersteigenden Luftströmen, die natürlich auftriebsvermehrend oder vermindernd wirken, je nach ihrer Richtung.

Wir sind nun in der Lage, alle bewegungsbestimmenden Umstände, die auf einen Ballon wirken können, zu überschauen. Wir wollen jetzt zur Veranschaulichung ein praktisches Beispiel wählen. Für die Vergnügungsfahrten wird gewöhnlich ein Ballon von 1200 Kubikmeter Inhalt genommen. Mit Leuchtgas gefüllt kann ein solcher Ballon bis zu vier Personen tragen und noch genügend Ballast mitnehmen. Aus gefirnißtem Baumwollstoff hergestellt wiegt die ganze Ballonausrüstung rund 330 Kilogramm. Davon entfallen auf die Hülle 180 Kilogramm, Netz 60, Ring 10, Korb 50, Schleppleine 20, Ballastsäcke, Einbindtücher u. a. 10 Kilogramm. Rechnet man bei einem Luftdruck von 760 Millimeter und einer Lufttemperatur (= Gastemperatur) von 0 Grad den normalen Auftrieb von ein Kubikmeter Leuchtgas zu 0·7 Kilogramm, so folgt für unseren Ballon ein Gesamtauftrieb von 840 Kilogramm. Bringen wir als Nutzlast (vier Personen, Proviant u. a.) 310 Kilogramm in Anschlag, so gibt dies eine Gesamtbelastung von 330 + 310 = 640. Es bleibt sonach noch ein freier Auftrieb von 840 — 640 = 200 Kilogramm, der als Ballast mitgenommen werden kann. Eine Druckänderung von ein Millimeter bedingt eine Auftriebsänderung um 1·1 oder rund 1 Kilogramm. In Wien kann man auf Luftdruckänderungen von 720 bis 760 Millimeter, also auf Unterschiede von 40 Millimeter rechnen. Das gibt Änderungen des Auftriebes von 44 Kilogramm. Um diesen Betrag ist der Auftrieb beim höchsten Luftdruck größer als beim niedrigsten. Eine Temperaturänderung von ein Grad hat eine Änderung des Auftriebes um 3·3 oder rund drei Kilogramm zur Folge. Die in Wien zu erwartenden Temperaturextreme sind rund — 20 Grad und + 35 Grad. Diese würden Auftriebsdifferenzen von 180 Kilogramm bedingen. Bei einer Lufttemperatur von — 20 Grad würde unser Ballon 66 Kilogramm mehr tragen können, bei + 35 Grad müßte man 115 Kilogramm Ballast aus dem Korbe geben; der Ballon könnte also nur mehr 85 Kilogramm tragen. Das wäre für eine Fahrt schon zu wenig. Es müßte also wenigstens eine Person aussteigen. Herrscht zur Zeit des Aufstieges die Temperatur von + 20 Grad und der Luftdruck von 740 Millimeter, so entspricht der Temperaturerhöhung eine Auftriebsabnahme von rund 60 Kilogramm, der Druckverminderung eine solche von rund 20 Kilogramm,

Digitized by Google

das gibt zusammen 80 Kilogramm. Die Temperatur und Druckänderungen haben demnach einen sehr erheblichen Einfluß auf den Auftrieb. Änderungen der Temperatur des Füllgases bedingen Auftriebsänderungen im umgekehrten Sinne wie die Variationen der Lufttemperatur. Eine Temperaturzunahme des Gases um ein Grad hat eine Auftriebszunahme um 2·1 oder rund zwei Kilogramm zur Folge. Das gibt bei einer Überhitzung des Gases um 10 Grad rund 20 Kilogramm und bei 40 Grad schon 80 Kilogramm Auftriebsvermehrung. Durch unmittelbare Messungen der Gastemperaturen mittels Maximumthermometern, welche die höchste Temperatur anzeigen, welche das Füllgas während der ganzen Dauer der Fahrt erreicht hat, wurde von Sigsfeld konstatiert, daß Überwärmungen von 40 bis 50 Grad über

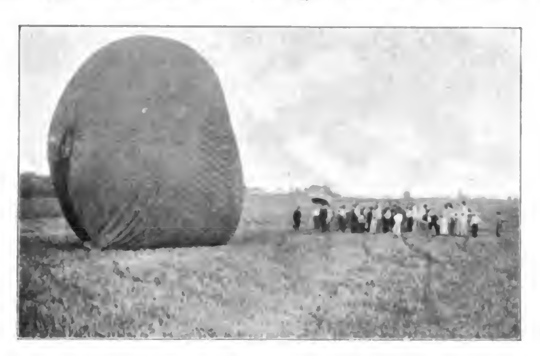


Fig. 46. Ballonlandung.

Ballon schon zum Teil entleert. Man sieht am oberen Teile der Kugel das Entleerungsventil und das Netz sehr gut. (Nach einer Originalphotographie.)

die Temperatur der Außenluft eintreten können. Der Einfluß der Überhitzung ist demnach gleichfalls sehr erheblich. Bei klarem Himmel und länger dauernder Fahrt erhitzt sich das Leuchtgas meist sehr beträchtlich. Die Sonne hebt den Ballon, jeder Wolkenschatten drückt ihn nieder.

Eine Temperaturänderung um ein Grad bewirkt eine Auftriebsänderung um 3·3 Kilogramm, eine Druckänderung um ein Millimeter bedingt eine Auftriebsänderung um 1·1 Kilogramm, diese ist also dreimal so groß wie der Einfluß der Temperaturänderung. Ein Grad Temperaturänderung ist darum äquivalent einer Druckänderung von 3 Millimeter. Ein Millimeter Druckänderung entspricht in der Nähe der Erdoberfläche einer Höhenänderung von rund 10 Meter. Eine Temperaturänderung um ein Grad wird also durch eine Höhenänderung des Ballons um 30 Meter ausgeglichen. Dies gilt auch ganz allgemein. In jeder Höhe bedingt eine Änderung der Lufttemperatur um ein

Digitized by Google

Grad eine Höhenänderung jedes Ballons um 30 Meter. Wird das Gewicht unseres Ballons um ein Prozent verringert, d. i. um 8·4 Kilogramm, so steigt dieser um 80 Meter. Dieser Satz gilt gleichfalls allgemein. Der Beweis ist im theoretischen Anhang gegeben. Die Höhe jedes Ballons ändert sich um 80 Meter, wenn er um ein Prozent seines augenblicklichen Gewichtes erleichtert wird. Ein Ballastabwurf von 10 Prozent, d. i. von 80 Kilogramm, würde unseren Ballon demnach um 800 Meter heben. Wir können uns auf Grund dieses Satzes in sehr einfacher Weise ein Bild von der Ballastwirkung machen und die Höhe finden, bis zu welcher der Ballon nach Abwurf einer bestimmten Ballastmenge gehoben wird, indem wir den Ballon immer um 10 Prozent seines Gewichtes erleichtern. 84 Kilogramm Ballast bringen den Ballon also 800 Meter hoch, es bleibt ein Gewichtsrest von 840 — 80 = 756 Kilogramm; davon 10 Prozent, also rund 76, heben den Ballon wieder um 800 Meter, d. i. auf 1600 Meter. Gewichtsrest 756 — 76 = 680. Davon 10 Prozent sind 68. Rechnen wir so weiter, so finden wir folgende Werte für die Ballastausgabe für die aufeinander folgenden 800 Meter Höhe: 84, 76, 68, 61, 55. Die Differenzen nehmen ersichtlich langsam ab, man kann dafür rund 7 Kilogramm setzen. Wir finden ferner folgenden gesamten Ballastverbrauch zur Erreichung von Höhen bis 4 Kilometer in runden Ziffern:

Höhe in *m*	800	1600	2400	3200	4000
Ballastverbrauch in Kilogramm .	80	160	230	290	340

Da die Temperaturänderungen des Leuchtgases, wie wir gesehen haben, einen großen Einfluß auf den Zahlenwert des Auftriebes haben, die Temperatur des Füllgases gewöhnlich in weiten Grenzen unbekannt ist und auch nicht einmal genauer geschätzt werden kann, wäre es natürlich illusorisch, auf Meter und Kilogramm genau erreichbare Höhe, bzw. den Ballastverbrauch berechnen zu wollen. Es genügt deshalb eine überschlägige Rechnung, die man auf Grund weniger Zahlenwerte jedesmal auch leicht im Kopfe anstellen kann. Der Ballon hat die unter obwaltenden Umständen mögliche maximale Höhe erreicht, wenn aller Ballast bis auf den Reserve- und Landungsballast bereits verbraucht ist.

Wie lange wird nun der Ballon sich in der Maximalhöhe erhalten? Wenn auch die Hülle sorgfältigst gedichtet ist, wird sie doch nicht absolut gasdicht sein. Nach längerem Gebrauche bilden sich auch zahlreiche Poren in der Hülle, die trotz genauester Untersuchung nicht alle gedichtet werden können. Dies bewirkt, daß stets ein kleinerer oder größerer Bruchteil des Füllgases durch die Hülle entweicht, teils infolge der Diffusion des Gases durch die völlig unverletzte Hülle, teils infolge des Gasverlustes durch die Poren. Diese Gasverluste kommen bei den gewöhnlichen Ballonfahrten, die sich nicht gleich auf mehrere Tage erstrecken, aber kaum in Betracht. Die ausschlaggebende auftriebsvermindernde Kraft bildet bei diesen vielmehr die Temperaturänderungen des Füllgases. Wir wissen schon, daß die Abnahme der Temperatur des Füllgases um ein Grad eine Verminderung des Auftriebes eines 1200 Kubikmeter-Leuchtgasballons um mehr als 2 Kilogramm zur Folge hat. Unser Ballon wird sich deshalb nur so lange in seiner Maximalhöhe zu halten vermögen, als

Digitized by Google

die Temperatur des Füllgases infolge der Bestrahlung der Hülle durch die Sonne zunimmt. Das Gleichgewicht des Ballons im höchsten Punkte ist deshalb labil. Es hängt ganz von der Wirkung der Sonne auf die Temperatur des Füllgases ab, ob der Ballon sich nur ein paar Minuten oder stundenlang in der Maximalhöhe erhält.

Da eine Änderung der Lufttemperatur in größeren Höhen während weniger Stunden erfahrungsgemäß nicht erfolgt, hängt alles von der Änderung der Temperatur des Füllgases ab. Sowie diese zu sinken beginnt, wirkt sofort ein Abtrieb auf den Ballon, und dieser muß sich senken. Wir werden sehen, daß die Sinkbewegung von selbst nicht



Fig. 47. Ballonlandung.
Hülle nahe zwei Drittel gasleer. Neben Hülle Korb. (Nach einer Originalphotographie.)

zum Stillstande kommen kann und der Ballon deshalb bis zur Erde fallen muß. Der sinkende Ballon kommt unter stetig zunehmenden Luftdruck. Der Druck des Füllgases kann nicht größer werden, er vermag deshalb dem wachsenden äußeren Luftdrucke nicht mehr das Gegengewicht zu halten. Das Füllgas wird aus diesem Grunde durch den Überdruck der Außenluft so weit komprimiert, bis dessen Gegendruck wieder gleich geworden ist dem Druck der Luft in der momentanen Höhe des Ballons. Da die Luftverdrängung des sinkenden Ballons nicht größer wird, sondern im Gegenteile abnimmt, kann auch die Sinkbewegung nicht gebremst werden, sie muß vielmehr fortdauern, und zwar so lange, bis der Ballon den Boden erreicht hat. Der sinkende Ballon wird deshalb immer schlaffer, je mehr er sich der Erdoberfläche nähert, da das Füllgas entsprechend dem zunehmenden Luftdruck zusammengepreßt wird. Verfügt ein bis zur Erdoberfläche

Digitized by Google

herabgesunkener schlaffer Ballon noch über genügenden Ballast und will man aus irgendeinem Grunde wieder hochgehen, so braucht man nur so viel Ballast abzuwerfen, daß der Ballon einen freien Auftrieb erhält. Da ein schlaffer Ballon, wie wir schon wissen, mit gleichbleibendem Auftrieb steigt, bis er prall geworden ist, wird sich unser Ballon wieder bis zur Höhe erheben, von der er herabgesunken ist und diese entsprechend seinem freien Auftrieb sogar noch übersteigen, vorausgesetzt, daß die Temperatur des Füllgases wieder ihren ursprünglichen Wert erreicht. Da diese Bedingung in der Praxis kaum je erfüllt sein dürfte, wird schon wegen der unvermeidlichen Gasverluste durch Diffusion die neue Prallhöhe natürlich meist geringer sein als die Höhe, von der der Ballon herabgesunken ist. Ein aus 4000 Meter herabgefallener Ballon würde also nach entsprechender Entlastung wieder auf nahe die gleiche Höhe aufsteigen. Auf diesen Umstand hat der Führer bei der Landung zu achten, er darf sich nicht überwerfen, d. i. nicht mehr Ballast ausgeben, als gerade nötig ist zur Bremsung des Falles, denn die sonst eintretende Steigbewegung könnte nur durch Auslassen von Gas mittels des Ventils gedämpft werden. Um eventuelle Hindernisse, die im Momente der Landung noch auftauchen könnten, leicht nehmen zu können, geht man aber mit dem Füllgas so sparsam als möglich um und vermeidet es, zu viel Gas durch das Ventil auszulassen.

Wo nicht zwingende Gegengründe vorliegen, läßt man den Ballon, wenn zur Landung geschritten werden soll, ohne das Ventil zu öffnen, langsam fallen und bremst nur den Fall ein wenig durch Abwerfen von Ballast. Um über die Intensität des Aufpralles am Boden eine anschauliche Vorstellung zu erhalten, müssen wir ein Maß gewinnen für die möglichen vertikalen Geschwindigkeiten eines Ballons. Bei einem im luftfreien Raume fallenden Körper wäre die Fallgeschwindigkeit bloß von der Falldauer, bzw. der durchfallenen Höhe abhängig, aber unabhängig vom Gewicht und von den Dimensionen des sinkenden Körpers. Die Geschwindigkeit wächst im selben Maße wie die Falldauer. Anders im lufterfüllten Raume. Die Luft wirkt fallverzögernd, bremsend auf die Bewegung. Die Bremsung des Falles wird um so größer, je größer die Unterfläche des Körpers senkrecht zur Fallrichtung im Verhältnis zum Körpergewichte wird. Die Fallgeschwindigkeit wächst mit der Falldauer nicht unbegrenzt, denn die bremsende Kraft der Luft steigt im quadratischen Verhältnisse zur Sinkgeschwindigkeit und vermindert um ihren ganzen Betrag die abwärtstreibende Kraft des Gewichtsdruckes. Sowie die Bremskraft der Luft gleich geworden ist dem Gewichtsdrucke des sinkenden Körpers, wird dieser scheinbar gewichtslos, es entfällt deshalb jeder Impuls zu einer weiteren Zunahme der Fallgeschwindigkeit; diese bleibt deshalb von diesem Augenblicke an konstant. Jeder Körper kann deshalb in der Luft bloß mit einer gewissen maximalen Geschwindigkeit sinken. Diese ist wesentlich abhängig vom Gewichte der Volumseinheit der Luft, durch welche der Körper augenblicklich fällt, und dem Verhältnisse des Gewichtes zur Unterfläche, der Flächenbelastung. Bei der vierfachen Flächenbelastung erreicht die maximale Fallgeschwindigkeit den doppelten Wert, bei der neunfachen steigt sie auf das Dreifache.

Digitized by Google

Die Bremskraft der Luft, deren Widerstand, hängt überdies noch ab von der Form des Körpers. Ein Würfel erfährt unter gleichen Umständen eine stärkere Bremsung als eine Kugel, diese wird wieder mehr verzögert als ein Doppelkegel usw. Unser Ballon von 1200 Kubikmeter Inhalt hat einen Durchmesser von 13 Meter und eine größte Querschnittsfläche von 136 Quadratmeter. Wegen der Kugelform kommt für die Bemessung als Flächenbelastung aber bloß der dritte Teil in Betracht, d. i. 45 Quadratmeter.

Die Bremskraft der Luft wirkt nicht bloß in lotrechtem Sinne, sondern bei jeder beliebigen Bewegungsrichtung. Auch wenn ein Körper unter der Wirkung einer Kraft lotrecht aufsteigt, wird er durch die Bremskraft der Luft verzögert. Geben wir dem Ballon einen Auftrieb von 45 Kilogramm, so wird die Flächenbelastung gleich 1 Kilogramm pro Quadratmeter. Bei prall gefülltem Ballon sinkt der Auftrieb mit zunehmender Höhe, bei schlaffem Ballon behält er denselben Wert bis zur Prallhöhe. Die Steiggeschwindigkeit muß deshalb beim schlaffen Ballon größer werden als beim prallen. Wir wollen sehen, wie groß sie überhaupt werden kann. Wenn der Bremsdruck der Luft gegen die Oberseite des Ballons gleich geworden ist dem Auftrieb, so kompensiert er diesen; die Steiggeschwindigkeit kann also nicht weiter zunehmen. Wir finden danach die maximale Steiggeschwindigkeit in unserem Falle zu rund 3 Meter in der Sekunde. Werfen wir die doppelte Ballastmenge ab, also 90 Kilogramm, so wird auch die Flächenbelastung doppelt so groß; die maximale Steiggeschwindigkeit wird 4 Meter pro Sekunde, sie erhöht sich auf 6 Meter, wenn wir die doppelte Ballastmenge, d. i. 180 Kilogramm, oder das Vierfache der ursprünglichen Menge abwerfen. Wir ersehen daraus, daß selbst bei den extremsten in der Praxis möglichen Entlastungen die Steiggeschwindigkeiten nicht sehr erhebliche Werte erlangen können. Auch sind wir in der Lage, die Fallgeschwindigkeiten des Ballons in extremen Fällen zu beurteilen.



Fig. 48. Ballonlandung.
Hülle völlig gasleer. Aufnahme Sr. k. u. k. Hoheit Erzherzog Leopold Salvator.
(Nach einer Originalphotographie.)

Wie groß kann die maximale Fallgeschwindigkeit werden, wenn der Ballon etwa alles Gas in der Luft verlieren würde? Der schreckliche Gedanke: Ja, wenn der Ballon platzt, was dann? könnte manchem Neuling die Freude an der Fahrt verderben. Die gleiche peinliche Vorstellung mag auch viele, die sonst nicht gerade Hasenfüße sind, abhalten, den Fuß in den Korb eines Ballons zu setzen. Wir werden

Digitized by Google

sehen, daß es selbst in diesem Falle keineswegs den Hals kostet. Wenn das Platzen des Ballons nur hoch genug in der Luft erfolgt, kann man bei einiger Vorsicht selbst ohne Fußverstauchung davon kommen. Sowie der Ballon gasleer geworden ist, faltet er sich fallschirmartig zusammen. Es kommt jetzt nahe die ganze Querschnittsfläche als fallvermindernd zur Wirkung. Da das tote Gewicht unseres Ballons 330 Kilogramm beträgt und das Nutzgewicht 310 Kilogramm, also zusammen 640 Kilogramm, folgt eine Flächenbelastung von 640 : 136 = 4·8. Dieser entspricht eine maximale Sinkgeschwindigkeit von 6·6 Meter pro Sekunde. Die Wucht, mit der unser Körper bei dieser Geschwindigkeit am Boden auftrifft, kommt einem Sprunge aus 2·1 Meter Höhe gleich. Ein derartiger Sprung läßt sich für jüngere Beine unschwer ertragen. Wenn nur zwei Personen in der Gondel sind, sinkt die maximale Fallgeschwindigkeit auf 5·6 Meter, entsprechend einem Sprung von rund 1·5 Meter Höhe.

Es sei noch angefügt, daß bei Wasserstoffüllung der Einfluß der Temperaturänderungen des Füllgases nur ungefähr den zehnten Teil des Wertes erreicht wie bei Leuchtgasfüllung. 1 Grad Temperaturänderung bedingt eine Auftriebsänderung von rund 0·3 Gramm pro Kubikmeter und bewirkt demnach bloß eine Höhenänderung von rund 2 Meter. Ein Ballastabwurf von 1 Prozent des Gesamtgewichtes hat eine Änderung des Auftriebes um 0·02 Prozent zur Folge. Die Höhe eines mit Wasserstoff gefüllten Ballons wird deshalb durch die Temperaturvariationen des Füllgases nur wenig beeinflußt und die Führung wird dadurch wesentlich erleichtert. Wenn man Fahrten von möglichst langer Dauer ausführen will, füllt man deshalb den Ballon mit Wasserstoffgas und fährt während der Nacht auf, um dem Einflusse der Sonne zu entgehen.

Wir haben bisher nur den vollgefüllten oder prallen Ballon betrachtet. Füllt man den Ballon nicht ganz voll, so wird die Hülle im unteren Teile durch den Luftdruck so weit zusammengepreßt, bis der Gegendruck des abgesperrten Gases gleich wird dem äußeren Luftdruck. Einen nicht ganz gefüllten Ballon nennen wir schlaff. Steigt ein schlaffer Ballon auf, so kommt er unter niedrigeren Luftdruck. Das Füllgas dehnt sich infolge seines Überdruckes so weit aus, bis sein Druck gleich geworden ist dem Druck der Außenluft. Die Luftverdrängung des Ballons nimmt also entsprechend der Druckverminderung der Luft mit wachsender Erhebung zu. Der Auftrieb des Ballons kann deshalb *nicht kleiner* werden, so lange die Ballonhülle nicht *ganz* voll ist. Die Höhe, in welcher der schlaffe Ballon voll wird, heißt die Prallhöhe. Steigt der Ballon weiter auf, so entweicht Gas durch den Füllansatz. Die Luftverdrängung des Ballons wird von der Prallhöhe an nicht mehr *größer*, sondern sie bleibt gleich. Da das Gewicht der Volumseinheit Luft im selben Maße abnimmt, wie der Luftdruck und mit zunehmender Höhe deshalb kleiner wird, kann der Auftrieb des prallen Ballons mit wachsender Höhe nicht mehr *zunehmen*, sondern er muß *kleiner* werden. Sowie das Gewicht der verdrängten Luft gleich dem Gesamtgewichte des schwebenden Systems geworden ist, verschwindet der Auftrieb und der Ballon kommt zur Ruhe.

Digitized by Google

Das Platzen eines Ballons in der Luft ist aber bei dem modernen Material so gut wie ausgeschlossen, da die Ballons stets mit offenem Füllansatz aufsteigen und das Füllgas bei Überdruck durch diesen entweichen kann. In normalen Fällen darf man nur verhältnismäßig geringe maximale Fallgeschwindigkeiten rechnen. Selbst in den extremsten Fällen werden diese 3 Meter pro Sekunde entsprechend einer Sprunghöhe von 0·4 Meter kaum übersteigen. Dies gilt für ruhige Luft. Bei Wind in Bodennähe addiert sich die Windgeschwindigkeit natürlich zur Fallgeschwindigkeit geometrisch. Auch bei starkem Bodenwind ist jedoch der Landungsstoß keineswegs so gefährlich, als man sich gewöhnlich vorstellt; denn der Aufprall wird ja vom Korb aufgenommen. Die Korbinsassen ziehen sich im Momente des Aufschlages an den Korbstricken auf, wodurch der Stoß so abgeschwächt wird, daß, selbst wenn der Ballon schon recht schlaff geworden ist, der Anprall leicht



Fig. 49. Ballonlandung.
Hülle verpackt in den Korb. Heimtransport. (Nach einer Originalphotographie.)

ertragen wird, falls nicht gerade Wind von Sturmesstärke herrscht. Bei starkem Wind braucht aber der Vergnügungsluftschiffer nicht aufzusteigen und die Änderung der Windstärke läßt sich nach den meteorologischen Karten auf eine Reihe von Stunden mit großer Präzision voraussagen.

Physiologie und Psychologie des Ballonfahrens. Wer noch nie eine Luftreise mitgemacht hat, bildet sich meist ganz unzutreffende Vorstellungen über die physiologischen und psychologischen Einflüsse einer Ballonfahrt.

Die Luftschiffahrt ist in den Augen des Laien auch heute noch immer mit dem Nimbus des Geheimnisvollen und Gefährlichen umgeben. Man meint, ein Luftschiffer müßte ein Mann von ganz besonderer Tollkühnheit sein mit Nerven von Stahl. Die Luftballonfahrten rangieren, was ihre Gefährlichkeit anlangt, in der Vorstellung der meisten Laien gewiß noch hart neben den Löwen- und Tigerjagden.

Die Gründe dieser ganz unzutreffenden Vorstellungen von

Digitized by Google

dem besonderen Risiko einer Ballonfahrt sind teils historischer, teils psychologischer Natur. Wenn auch die Erfindung des Luftballons bis in das letzte Viertel des achtzehnten Jahrhunderts zurückdatiert, blieb doch bis über die Mitte des vorigen Säkulums das Ballonfahren bloß ein zugkräftiges Spektakelstück, die pièce de résistance der Seiltänzer und anderer Artisten. Das Ballonfahren wurde ein einträgliches Geschäft. Für diese aeronautischen Artisten war es also sozusagen Geschäftsgeheimnis, wenn sie das Ballonfahren mit allem möglichen Humbug umgaben, um die Nerven der Zuschauer nur recht in Spannung zu halten. Als dann im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts die wissenschaftliche und sportliche Aeronautik einen lebhaften Aufschwung nahmen, ging der Nimbus der Aeronaut-Artisten auch auf die wissenschaftlichen und sportlichen Luftschiffer gleichsam als Erbteil über. Wenn die Aeronaut-Artisten schon aus Geschäftsrücksichten gezwungen waren, das geheimnisvolle Dunkel, das ihre Tätigkeit umgab, nicht zu erhellen, spielte bei den sportlichen und wissenschaftlichen Luftschiffern, wenn auch vielleicht vielfach unbewußt, noch ein anderes Moment mit: die leidige menschliche Eitelkeit. Ich kenne Luftschiffer, die eitler sind als eine Primadonna oder ein Heldentenor. Nomina sunt odiosa!

Was „Perücken mit Millionen Locken“ und „ellenhohe Locken“ nicht zuwege bringen könnten, vermag eine Fahrt im Luftballon. Nicht bloß bei der Landung, wo regelmäßig ein Wettlauf von groß und klein, von jung und alt zum Landungsorte erfolgt, wird man von den im Nu zu Hunderten angesammelten Zusehern angegafft und angestaunt wie ein „Gebild aus Himmelshöhn“, auch zu Hause in seinem Bekanntenkreise gilt man nun als verwegen und tollkühn und wird wie ein Held gefeiert. Worin mag nun eigentlich die Ursache liegen dieser entsetzlichen Angst, welche so viele Nichtluftschiffer auch heute noch befällt, wenn sie von einer Fahrt im Luftballon auch nur — träumen?

Bei vielen dürfte in erster Linie eben die falsche Vorstellung von der ganz eminenten Gefährlichkeit einer Ballonfahrt eine wesentliche Rolle spielen. Man kann aber doch nicht annehmen, daß es in allen Fällen nur die blasse Furcht sei, die dem Laien solche Scheu vor der großen Gasblase einflößt. Es muß da wohl noch ein viel tieferer psychologischer Grund vorhanden sein. Dieser scheint darin zu liegen, daß der Nichtluftschiffer nicht imstande ist, sich eine anschauliche Vorstellung von den sinnlichen Empfindungen und Eindrücken einer Ballonfahrt zu bilden. Es ist die instinktive Furcht vor dem Unbekannten, der Mangel an Erfahrung, welche dem Laien ein so unbehagliches Gefühl erzeugt, wenn er in den Korb eines Luftballons steigen soll. Ich kenne Personen, die als verwegene Sportsmen gelten, deren persönlicher Mut ganz außer allem Zweifel steht. Als Hochtouristen ist ihnen keine Zinke zu steil oder zu beschwerlich, als Automobilisten rasen sie im hundert Kilometer-Tempo dahin, aber vor dem Luftballon haben sie eine schier unüberwindliche Idiosynkrasie. Einem Luftschifferklub, der seinen Sitz außerhalb des Deutschen Reiches hat, sind auf Anregung des Präsidenten sehr vornehme Mitglieder beigetreten, welche ihren Beitritt aber an die ausdrückliche Bedingung knüpften, daß sie „niemals animiert würden zu einer Ballonfahrt“! Ein Mitglied desselben Klubs,

Digitized by Google

ein reicher Brauherr, hat sich einmal den Vereinsballon für 500 Kronen gemietet. Kurz vor der Fahrt stiegen ihm aber doch die „Grausbirn“ auf, er zahlte, sandte jedoch einen Stellvertreter für den Aufstieg! So unglaublich groß ist also auch heute noch selbst in gebildeten Kreisen die Angst vor der Gaskugel. Und so ganz mit Unrecht!

Die effektive Gefährlichkeit einer gewöhnlichen Spazierfahrt im Luftballon ist so verschwindend klein, daß die Wahrscheinlichkeit eines Unfalles heute gar nicht mehr in Rechnung kommt. Bloß das Gesetz der großen Zahlen gilt natürlich auch für den Vergnügungsluftschiffer. Man brachte wohl: ich spreche hier stets nur von Ballonfahrten, die bloß zum Vergnügen gemacht werden, ich schalte also die wissenschaftlichen und auch die rein sportlichen Ballonfahrten aus. Bei diesen kommen freilich ganz andere Momente in Betracht, die das Risiko, die Chancen eines Akzidens natürlich außerordentlich erhöhen. Die meisten, um nicht zu sagen alle, Unfälle bei Ballonfahrten fanden in der Tat bei den sportlichen und den wissenschaftlichen Aufstiegen statt. Eine Fahrt auf 7000 und mehr Meter Höhe, eine Ballonreise über den Kanal oder die Nordsee, eine Dauerfahrt von Paris nach Rußland ist natürlich etwas anderes als eine Fahrt im Gummiradler. Solche Fahrten müssen eben mit anderem Maße gemessen werden.

Was den physiologischen Einfluß einer Fahrt im Luftballon auf den Organismus betrifft, so sei zunächst darauf aufmerksam gemacht, daß es im Korb eines Freiballons kein Rasseln und Rütteln, kein Schlingern, kein Rollen und Stampfen gibt. Die Fortbewegung im Ballon gleicht weder einer Fahrt in der Eisenbahn noch einer Reise mit dem Schiff. Hier verschwindet die unmittelbare Empfindung der Bewegung, der Ortsveränderung unseres Vehikels völlig. Auch wenn der Ausblick auf die Erde frei ist, merkt man selbst bei gespanntester Aufmerksamkeit nichts, absolut gar nichts von einer Bewegung des Ballons. Bei geschlossenen Augen oder über einer dichten Wolkendecke, die den Ausblick auf die Erde vollständig hemmt, kann man auf Grund von unmittelbaren Empfindungen über die Fortbewegung des Luftvehikels meist überhaupt nichts aussagen. Wir können dann die Bewegung ebensowenig empfinden, als wir von der Bewegung der Erde um ihre Achse oder ihrer Drehung um die Sonne auf Grund unmittelbarer physiologischer Eindrücke etwas wissen könnten. Ist der Ausblick auf die Erde frei, so beobachten wir bloß eine gegenseitige Verschiebung zwischen unserem Standorte und dem sichtbaren Teile der Erdoberfläche. Fixieren wir einen senkrecht unter uns liegenden Ort, so merken wir, daß die Blickrichtung zu ihm mit der Zeit sich ändert. Der unmittelbare Eindruck ist der, daß die Erdoberfläche sich unter dem Ballon hinwegzuschieben scheint. Dieses Moment ist wichtig und darf bei der Beurteilung des physiologischen Einflusses einer Ballonfahrt nicht außer acht gelassen werden. Es gilt aber, wohlgemerkt, nur für den völlig freien Ballon, nicht aber für den Fesselballon und auch nicht für den Motorballon.

Der physikalische Grund, weshalb im Korbe eines ungefesselten Luftballons die Bewegung nicht unmittelbar empfunden werden kann, liegt natürlich, wie sofort ersichtlich ist, darin, daß die Bewegung völlig gleichförmig verläuft. Der Ballon bildet mit der ihn umgebenden Luft-

Digitized by Google

masse, die ihn trägt, ein einheitliches Ganzes, er bewegt sich mit ihr, wie wenn das ganze System ein fester Körper wäre. Nur beim Auflassen des Ballons und beim Landen wirkt der Druck des Windes gegen die Oberfläche der Gaskugel. Mit zunehmender Geschwindigkeit wird der Winddruck gegen den Ballon immer geringer. Hat der Luftballon schließlich die Geschwindigkeit des Windes angenommen, so hört der Winddruck gegen ihn ganz auf, man spürt dann auch nicht den leisesten Luftzug in der Gondel. Nur bei ungleichförmiger Windströmung ganz nahe dem Erdboden oder an der Grenze verschieden gerichteter oder ungleich rasch strömender Luftschichten wird die Bewegung des Ballons unmittelbar merklich. Die Empfindungen sind aber keineswegs unangenehmer Natur, die große Oberfläche der Ballonkugel schwächt jeden Windstoß erheblich ab. Es können darum nicht plötzliche Geschwindigkeitsänderungen eintreten, man verspürt keine Erschütterungen, keine Stöße, sondern bloß ein sanftes Wiegen, gelegentlich wohl auch ein langsames Rotieren um die lotrechte Achse. Vor der Seekrankheit braucht sich also niemand zu fürchten. Diese existiert für die Fortbewegung durch die Luft im Ballon nicht.

Eine andere physiologische Wirkung, von der sich der Nichtluftschiffer meist eine völlig unzutreffende Vorstellung macht, ist das vermeintliche Auftreten eines unerträglichen Schwindelgefühles bei der Erreichung größerer Höhen im Ballon. Wenn ich an einem Turm vorbeigehe und einen Arbeiter am Dache herumklettern sehe, erzeugt die Vorstellung, an seiner Stelle zu sein, in mir dasselbe peinliche Gefühl wie wohl in den meisten Menschen, die keine Dachdecker sind. Trotzdem schaue ich in der fünfzigfachen Höhe aus dem Korbe des Ballons ohne jede Schwindelanwandlung zur Erde nieder, stelle mich auch, wenn es sein muß, ohne Zagen auf den Rand des Korbes. Schon beim Hinabsehen von einer zwanzig bis dreißig Meter hohen Aussichtswarte kann ich mich eines leichten Schwindelgefühles kaum erwehren. Im Ballon bin ich, gleichgültig, in welcher Höhe dieser schweben mag, von jedem Schwindelgefühl frei. Schon bei meiner ersten Luftfahrt empfand ich beim Niederblicken zur Erde sogar ausgesprochene und stark betonte Lustgefühle; die Flughöhe spielt dabei gar keine Rolle. Daß man im Ballon frei ist von jedem Schwindelgefühl, ist eine allgemeine Erfahrung. Ein sehr interessanter Fall wird von Hildebrandt in seinem Buche „Die Luftschiffahrt" erzählt. Ein ehemaliger reichsdeutscher Offizier, der die Kriege von 1866 und 1870 mitgemacht hat, litt an so hochgradigem Schwindel, daß er nicht einmal von einem Fenster des ersten Stockwerkes herauszusehen vermochte. Dieser mußte auf Grund einer Wette an einer Ballonfahrt teilnehmen. Anfangs saß er in dem Korb geduckt; nach zweistündiger Fahrdauer stand er genau so wie jeder andere am Rande der Gondel und sah ohne jedes Angstgefühl direkt nach unten. Auf der Erde war jedoch später alles wieder beim alten.

Man muß deshalb wohl unterscheiden zwischen dem Schwindelgefühl beim Hinabblicken von erhöhten Punkten, die mit der Erdoberfläche in starrer Verbindung sind, und dem Schwindel im Ballon. Im Korbe des Luftballons hat man keinen sinnenfälligen Maßstab für die Schätzung der Höhe, man kann diese nur bei

Digitized by Google

großer Übung annähernd aus der scheinbaren Größe der gesehenen Objekte erschließen. Diese Schätzungen sind aber nur sehr roh und unsicher.

Auch von dem Einfluß der Höhe macht man sich gewöhnlich eine nicht zutreffende Vorstellung. Von der sogenannten Bergkrankheit, welche beim Besteigen hoher Berge auftritt, bleibt man im Ballon ebenso wie von der Seekrankheit in Höhen unter 4000 Meter verschont. Nach den Erfahrungen, die man bei den wissenschaftlichen Hochfahrten gemacht hat, tritt bis zu dieser Höhe kein Symptom analog der Bergkrankheit auf. Die verringerte Temperatur und der verringerte Luftdruck machen sich in keiner Weise unangenehm bemerkbar. Ich bin bei keiner meiner Hochfahrten in anderer Weise als durch das Barometer darauf aufmerksam geworden, daß der Ballon den vierten Kilometer überschritt. Daß stets Atembeschwerden, Herzklopfen, Nasenbluten und andere unangenehme Dinge als Folge der Höhe auftreten sollen, muß als Fabel hingestellt werden. Bei Erhebungen über 5000 Meter wird dies freilich anders. In Höhen von 6—7 Kilometer und darüber macht sich der physiologische Einfluß des Sauerstoffmangels schon unangenehm merkbar. Man muß dann zur künstlichen Atmung greifen, indem man Sauerstoff aus mitgeführten Gefäßen einatmet. Der Vergnügungsluftschiffer braucht aber nicht bis zu solchen Höhen sich hinaufzuwagen. Er kann sich ohne Schwierigkeit ständig in 500—2000 Meter Höhe halten. Die physiologische Einwirkung einer derartigen Vergnügungsfahrt kann nur ein durchaus günstiger sein. Eine Ballonfahrt wirkt geradezu als Stahlbad für die gequälten und überreizten Nerven des Großstadtmenschen. Die reine, staubfreie Luft übt einen außerordentlich erfrischenden Einfluß aus auf den ganzen Organismus. Die Lungen weiten sich und saugen den reinen Odem des Lebens ein.

Bei der Beschreibung des psychologischen Einflusses des Ballonfahrens, d. i. der Einwirkung auf unser Vorstellungs- und Empfindungsleben muß zunächst darauf hingewiesen werden, daß die Fortbewegung durch die Luft im Ballon uns um eine neue elementare Empfindung, bzw. einen ganzen Empfindungskomplex bereichert. Es ist nicht möglich, demjenigen, der nie eine Luftfahrt gemacht hat, durch eine bloße Beschreibung eine anschauliche Vorstellung zu verschaffen von der Empfindung des Fliegens. Empfindungen kann man eben nicht schildern. Dem Blinden, dem die Gesichtsempfindungen fehlen, kann ich keine genaue Vorstellung geben von einem farbenglühenden Markart oder dem bestrickenden Zauber der Sixtinischen Madonna. Der Nichtluftschiffer kann sich auch kein Surrogat für die Empfindung des Schwebens und Fliegens im Ballon machen, denn in seinem ganzen Erfahrungskomplex gibt es eben kein Element, das ihm zur Versinnlichung dienen könnte. Zur Klarlegung sei noch folgender Vergleich angeführt. Ich bin nicht auf der elektrischen Schnellbahn Berlin—Zossen gefahren, wo man vor mehreren Jahren bei den Versuchsfahrten ganz fabelhafte Geschwindigkeiten erzielte, aber ich kann mir aus bekannten Erfahrungselementen doch eine im wesentlichen wohl auch zutreffende anschauliche Vorstellung konstruieren von den Empfindungen, den Eindrücken, die die Teilnehmer beim Dahinrasen in einem solchen Schnellwagen haben mußten. In manchen Details wird

Digitized by Google

mein Vorstellungsgebilde mit den Tatsachen gewiß nicht übereinstimmen. Diese kleinen Abweichungen kann ich aber nach den Schilderungen der Augenzeugen leicht korrigieren. Die konstruierende Phantasietätigkeit kann in diesem Falle die unmittelbare Erfahrung nahezu vollständig ersetzen. Der Übergang von den ihren Eindrücken mir aus der unmittelbaren Erfahrung bekannten Schnellzugsfahrten zu den um so und so viel Kilometer rascheren Fahrten der Schnellbahn ist bloß ein quantitativer. Anders beim Ballonfahren. Hier handelt es sich um etwas seinem ganzen Wesen nach Verschiedenes. Es ist eben der Unterschied zwischen der Empfindung des Fahrens und der Empfindung des Schwebens durch die Luft ohne Verbindung mit der festen Erdoberfläche. Die Empfindung des Fliegens möchte ich zu den höchst betonten Lustempfindungen unserer Psyche rechnen.

Um den unsagbaren Zauber einer Luftreise, der sich bloß empfinden, aber nicht in Worten beschreiben läßt, voll und ganz genießen zu können, darf der Aeronaut nicht „luftscheu“ sein, er muß vielmehr das Gefühl der absoluten Sicherheit haben und darf nicht immer mit heimlichem Grauen hinabspähen zur tiefliegenden Erde und mit Bangen an die Landung denken, sondern er muß völlig vergessen, daß ein Unfall überhaupt nur möglich sein könnte. Wer nicht von Natur aus ein Hasenfuß ist, kann sich dieses Gefühl völliger Sicherheit leicht verschaffen, wenn er mit einem erprobten Luftschiffer an einem ruhigen Tage aufsteigt.



Digitized by Google

Der lenkbare Ballon.

Geschichtliches.

Von der Erfindung des Luftballons bis Henri Giffard.

Projekte und Versuche mit Lenkballons, angetrieben durch animalische Motore. Segelballons.

Mit der Auffindung eines Mittels zur Erhebung in die Luft war der erste Teil des Flugproblems gelöst. Die Suspension war erreicht. Es blieb nun noch die Translation, die Fortbewegung nach beliebiger Richtung. Man dachte zunächst, die Steuerung des Ballons werde sich

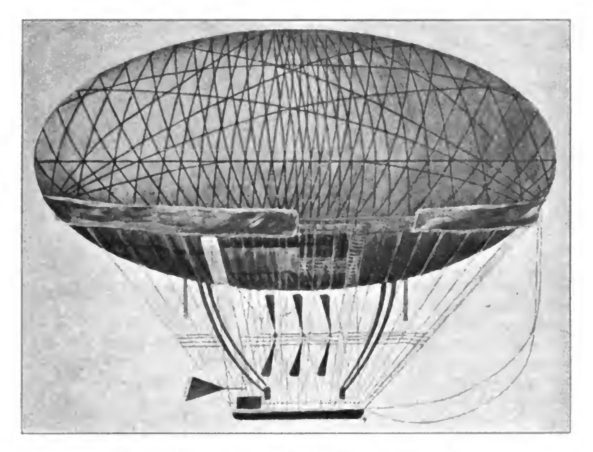


Fig. 50. Projekt eines Lenkballons von Meusnier.
Aus dem Jahre 1783. Eiförmiger Ballonkörper. Die schwarzen Linien in der Hülle sind nicht feste Versteifungen, sondern eingenähte Gurten zur Verstärkung des Stoffes, Schiffchenförmige Gondel an Seilen suspendiert. Antrieb durch drei rotierende „Flügelruder.“ (Schrauben.)

ohne Schwierigkeiten erzielen lassen. Schon die ersten Ballonfahrten hatten aber gezeigt, daß der Ballon, sowie er den Boden verlassen hat, in der Richtung und mit der Geschwindigkeit des Windes abgedriftet wird. Lotrecht auf und ab konnte der Ballon durch abwechselndes Ventilziehen und Auswerfen von Ballast leicht gelenkt werden, die horizontale Bewegung war aber ganz und gar durch die Strömungen der Atmosphäre bedingt. Man wollte sich jedoch damit nicht begnügen, in dem Ballon ein Mittel zur Erhebung gefunden zu

Digitized by Google

haben, er sollte auch in der Horizontalen steuerbar sein, unabhängig von der Richtung und der Geschwindigkeit der augenblicklich herrschenden Luftströmung.

Schon die Brüder Montgolfier beschäftigten sich eingehend mit dem Problem der Lenkbarmachung ihrer „Luftmaschine". Sie dachten bereits an die Verwendung von geneigten Flächen und konstruierten einen sehr abgeplatteten Aerostaten, der in einem Ring suspendiert war, so daß die Halteseile eine Neigung im gewünschten Sinne ermöglichten. Josef Montgolfier verwendete 40.000 Franken auf seine Versuche, es gelang ihm aber bloß ein kleines Modell zustande zu bringen. Schließlich betrachtete er das Problem der absoluten Lenkbarmachung für eine „Schimäre" und hielt es nur für möglich, aus der Kenntnis der verschiedenen Luftströmungen, deren Richtung mit zunehmender Höhe sich meist ändere, Nutzen zu ziehen. Um zu einem gewünschten Ziele zu gelangen, hätte man bloß eine möglichst günstige Luftströmung aufzusuchen. Die Brüder Josef Montgolfiers, Jean-Pierre und Alexander, hatten vorgeschlagen, dem Ballon statt der Kugelform die Fischform zu geben, um den Widerstand der Luft zu verringern.

Auch der Physiker Charles befaßte sich schon mit der Lenkbarmachung des Ballons. Er meint, die Frage könne „bloß durch schrittweise Erprobungen, Beobachtungen und möglichst wiederholte Versuche gelöst werden". Man sieht, daß der geniale Erfinder des Gasballons schon völlig klar dachte über das Problem der Lenkbarmachung. Er betrachtete die Frage der Steuerung nicht als eine „Erfindung", die irgendeinem gottbegnadeten Genie als reife Frucht in den Schoß fallen würde, sondern sah in ihr eine mühevolle Forschungsarbeit. Die Entwickelungsgeschichte des „lenkbaren Ballons" hat Charles auch recht gegeben.

Kaum ein Jahr nach der Erfindung des Ballons ließ der französische Ingenieuroffizier Meusnier der Pariser Akademie der Wissenschaften eine „Denkschrift" über die Lenkung der Aerostaten überreichen, in welcher bereits alle wesentlichen Grundbedingungen der Lenkbarkeit vollkommen klar auseinandergesetzt werden. Als solche erkennt Meusnier die zugespitzte Gestalt des Tragkörpers, die Verwendung eines Luftballonets zur Erhaltung der prallen Form des Ballons und die Anwendung eines Schraubenpropellers. Es ist kein Zweifel, daß die Motorluftschiffahrt ein ganz anderes Tempo der Entwicklung eingeschlagen hätte, wenn Meusnier bereits die leichten Motore, welche die Automobilindustrie uns gegenwärtig zur Verfügung stellt, hätte haben können. Zur Zeit Meusniers konnte aber von einer transportabeln Arbeitsmaschine überhaupt noch nicht die Rede sein. Das Projekt Meusniers zeichnet sich durch eine Fülle origineller und kühner Gedanken aus. Wegen seiner streng wissenschaftlichen Fundierung verdient es mehr Interesse, als alle die zahlreichen Versuche der Lenkbarmachung des Ballons, die bis um die Mitte des vorigen Jahrhunderts unternommen wurden. Von Meusnier stammten eigentlich zwei Projekte. Das eine überrascht durch die gigantischen Dimensionierungen des Ballons. „Es bezweckt", nach Meusnier, „sehr lange Reisen zu machen selbst über Meere hinweg und in wenig bekannte

Digitized by Google

Klimate. Dieses Projekt ist ein Bild dessen, was einst die Luftschiffahrt werden kann. Diese Maschine würde 30 Menschen mit Lebensmittel für 60 Tage tragen können und seine Ausführung würde mehr als drei Millionen kosten." Das Ballonvolumen sollte 79.000 Kubikmeter betragen. Dieses Projekt muß wohl von demselben Gesichtspunkte aus beurteilt werden wie jenes von Galien. Der Tragballon des zweiten Projektes sollte 9900 Kubikmeter fassen. Er war für den Transport von 6 Personen bestimmt. Der Tragkörper hat die Form eines Rotationsellipsoides, dessen große Achse zweimal so lang ist als die kleine. Der Gasbehälter besteht aus zwei nahe gleich großen Hüllen, die sich genau aneinander legen. Die innere Hülle dient zur Aufnahme des Wasserstoffgases. Zwischen beide Hüllen wird atmosphärische Luft geblasen. Über diesen beiden befindet sich eine dritte Hülle, die Widerstandshülle, aus roher Seide. Diese hat den Zweck,

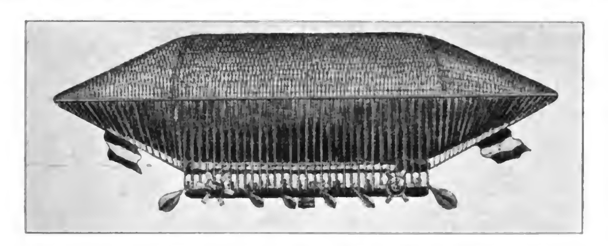


Fig. 51. Lenkballon von Graf von Lennox und Le Berrier.
Aus dem Jahre 1834.

die Spannung des Gases zu kompensieren. Die beiden inneren Hüllen legen sich gegen die Druckhülle an und sind etwas größer als diese. Die Widerstandshülle mit einer Art Netz bedeckt, das aus einem Geflecht von Gurten besteht. An diesen Gurten werden die Auslaufsleinen befestigt, welche die Gondel tragen. Durch diagonale Seile wird die Gondel gegen den Ballon versteift. Die Gondel hat die Form eines Bootes und kann auf dem Wasser schwimmen. Sie enthält zwei große Blasbälge zum Aufblasen des Ballonets und die Wellen zum Antrieb der drei Propeller. Diese sind zwischen Ballon und Gondel angeordnet an einer gemeinsamen horizontalen Achse und hintereinander. Meusnier nennt die Propeller „sich drehende Ruder". Sie sind aber nichts anders als Luftschrauben. Die Schraubenflügel stehen auf der Drehachse nicht senkrecht, sondern sind ein wenig nach hinten geneigt. Meusnier meint, die Erreichung einer Eigengeschwindigkeit von 4 Kilometer sei alles, was man bei der Anwendung von Menschenkraft erhoffen könne. Er hält gleich Montgolfier dafür, daß der „wahre Geist der Luftschiffahrt in der geschickten Ausnützung der Winde liege, in dem Studium ihrer Aufeinanderfolge nach den Beobachtungstabellen". Selbst die Erreichung einer kleinen Eigengeschwindigkeit

Digitized by Google

hält aber Meusnier für wünschenswert wegen der freien Wahl des Landungsortes.

Im Januar 1784 überreichte der Akademiker Brisson der Pariser Akademie eine Denkschrift über die Lenkung der Ballons, in welcher er der Akademie die Ideen Meusniers auseinandersetzt und die Zylinderform vorschlägt. Die Länge des Tragkörpers soll 5- oder 6mal so groß sein wie dessen Durchmesser; die Enden seien konisch zugespitzt. Brisson weist auf die Notwendigkeit hin, eine Treibkraft anzuwenden, um die Kraft des Windes zu überwinden. „Aber", fügt er hinzu, „wo werden wir diese Treibkraft finden? Ich gestehe ein, daß ich da zu verzweifeln beginne." Brisson schließt sich der Meinung Montgolfiers und Meusniers an, daß die Lösung des Problems darin liege, in verschiedenen Höhen einen günstigen Wind aufzusuchen. Um ohne Gasverlust und ohne Ballastverbrauch steigen und fallen zu können, soll der Ballon mit dem Meusnierschen Ballonet ausgestattet werden. Die Anschauungen der offiziellen wissenschaftlichen Kreise über die Lenkbarmachung des Ballons waren also recht pessimistisch. Man war sich vollkommen darüber klar, daß die absolute Steuerung die Erzeugung einer Triebkraft erfordere und daß bei Anwendung der Kraft der Gondelinsassen sich nur ganz geringe Eigengeschwindigkeiten erzielen lassen. Das Problem der Lenkbarmachung des Ballons war damit an die Bedingung der Herstellung eines leichten und kräftigen mechanischen Motors geknüpft. Da gegen Ende des achtzehnten Jahrhunderts die Dampfmaschine den einzigen Motor bildete und dessen Konstruktion noch derart kompliziert und schwer war, daß eine Hochnahme eines derartigen Motors im Ballon nicht gedacht werden konnte, mußte auch jeder Versuch der Lenkbarmachung von vornherein an der Kraftfrage scheitern. Die Entwicklung des Lenkballons läuft, wie wir sehen werden, bis in die neueste Zeit parallel mit den Fortschritten der Motortechnik. Wir könnten demnach alle die zahlreichen Versuche, welche bis um die Mitte des neunzehnten Jahrhunderts angestellt wurden, einfach übergehen, da sie entwicklungsgeschichtlich ohne jeden Wert sind. Einzelne von den Versuchen zur Lenkbarmachung des Ballons bieten aber doch vom rein kulturgeschichtlichen Standpunkte aus ein erhebliches Interesse, so daß deren Erwähnung begründet erscheint.

Der Physiker Carra überreichte 1784 der Pariser Akademie eine Abhandlung über Luftschiffahrt, in der er sein Projekt darstellt. Sein Treibapparat besteht aus zwei Schaufelrädern, deren Schaufeln mit Segeln überspannt sind und sich bei der Rückbewegung zusammenfalten. Diese Räder sind auf derselben Achse montiert und sollen durch die Kraft der Insassen gedreht werden. Der Ballon hat die Form eines Eies. Die lange Achse steht lotrecht. Im selben Jahre stieg Blanchard, der nach der Erfindung des Luftballons seine Versuche mit ballonfreien Flugmaschinen aufgab und sich ganz der aerostatischen Luftschiffahrt zuwandte, in einem mit einem Fallschirm und Flügeln versehenen Ballon auf. Die Flügelpropeller sollten zur Steuerung dienen. Von einem Erfolg konnte natürlich nicht die Rede sein.

Mit Unterstützung der Akademie von Dijon baute Guyton de Morveau 1785 einen großen kugelförmigen Wasserstoffballon. Der

Digitized by Google

Lenkungsapparat bestand in einem äquatorialen Ring, der zwei Paare großer rechteckiger, lotrecht gestellter Flügelflächen trug. Das eine Flügelpaar war fix mit dem Ballon verbunden und diente gleichsam als Führung, das zweite darauf senkrecht stehende Flügelpaar konnte durch Zugschnüre von der Gondel aus gedreht und flügelschlagartig bewegt werden. Auch die Gondel trug zwei kleinere Flügelpropeller. Eine recht originelle Konstruktion, deren Idee anscheinend zuerst von Josef Montgolfier gefaßt wurde, brachten um dieselbe Zeit die Physiker Miolan und Janinet zur Ausführung. Der Vortrieb einer Montgolfiere sollte durch die Reaktion des warmen Luftstromes erzielt werden, der den Ballon durch eine im oberen Teile angebrachte seitliche Öffnung verließ. Es wurde eine riesige Montgolfiere von 30 Meter Höhe und 25 Meter Umfang gebaut, die aber bei der Füllung Feuer fing und verbrannte. Der Versuch wurde nicht mehr wiederholt. Der Effekt der Reaktion wäre gewiß viel zu gering gewesen, um einen erheblichen Vortrieb zu erzielen, trotzdem gehört die Konstruktion von Miolan und Janinet zu den interessantesten aus dieser Epoche.

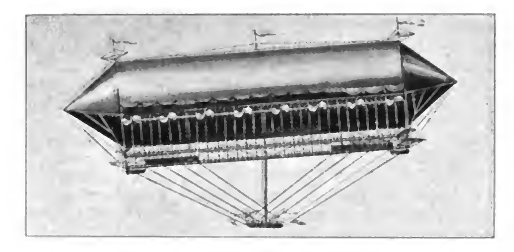


Fig. 52. Projekt eines Metalluftschiffes.
Von Prosper Meller aus dem Jahre 1851.

Der erste Versuch mit einem Spitzballon wurde von den Brüdern Robert unternommen. Der Tragkörper war 18 Meter lang und hatte 12 Meter im Durchmesser; er war mit einem Meusnierschen Ballonet ausgerüstet. Als Propeller dienten Ruder, die durch Handkraft bewegt wurden. Es wurden mehrere Versuche ausgeführt, natürlich ohne Erfolg. In den Jahren 1785 und 1786 experimentierten Alban und Vallet, sowie Testu Brissy mit Kugelballons, die durch Windmühlräder, bzw. Schaufelräder bewegt werden sollten. Alban und Vallet gelang es, bei ruhigem Wetter auf- und abwärts zu steuern und sich langsam in beliebiger Richtung zu bewegen. Am 17. September 1785 landeten sie in Versailles im königlichen Schlosse in Gegenwart Ludwig XVI., erhoben sich wieder und stiegen noch dreimal herab durch Betätigung ihrer Flügelräder. Diese Versuche machten wohl großen Eindruck, hatten aber keine nachhaltige Wirkung, denn es zeigte sich, daß beim geringsten Windhauch der Ballon die Steuerbarkeit einbüßte. Die

Digitized by Google

bisher erwähnten Projekte und Konstruktionen waren, wenn auch infolge der unzureichenden Antriebskraft der Effekt nur gering sein konnte, doch auf physikalisch richtigen Prinzipien basiert. Von dieser wenigstens theoretisch einwandfreien Methode der Lenkbarmachung müssen wir eine zweite Methode streng scheiden, die auch physikalisch unzulässig ist. Sie besteht darin, den Ballon ohne Zuhilfenahme eines besonderen Motors, sondern lediglich durch die Ausnützung der Windkraft wie ein Schiff auf dem Wasser steuern zu wollen. Die Spuren dieser Pseudo-Methode lassen sich bis in die neueste Zeit verfolgen. Der Engländer Martyn beginnt die lange Reihe dieser Projekte und Versuche, mittels Segel und Steuer den Ballon lenkbar zu machen. Sein Luftschiff besteht aus einem Ballon mit Fallschirm, einem Hauptsegel, Mast und Steuer, stellt also ein komplettes, vom Wasser in die Luft versetztes Segelschiff dar. Alle derartigen Projekte konnten natürlich nur von Personen entworfen werden, die nie in der Gondel eines gewöhnlichen Luftballons gesessen sind und die auch mit den Grundsätzen der Mechanik und Physik nicht genügend vertraut waren. Eine Mittelstellung zwischen der ersten Methode, nach welcher die Steuerung lediglich durch motorische Kräfte erzwungen werden soll, und der zweiten, welche die Erfahrungen der Segelschiffahrt auf die Bewegung des Ballons übertragen möchte, nimmt der sogenannte Segelballon ein. Er basiert auf dem Prinzipe, durch eine schräge, keilförmige Ausbildung der Unterfläche des Ballons ein schiefes Aufsteigen zu bewirken, hierauf durch Gasauslaß oder Abkühlung (bei Montgolfieren) wieder ein schräges Niedersinken zu erzielen. Durch abwechselndes Steigen und Senken kann also auch, ohne Anwendung einer besonderen motorischen Kraft, gleichzeitig eine Fortbewegung in horizontaler Richtung erreicht werden. Die Idee der Segelballons hat bis in die neueste Zeit zahlreiche Anhänger gefunden, ihre Theorie wurde namentlich von Wellner ausgearbeitet. Praktisch sind die Segelballons freilich ohne jede Bedeutung, da die Translation in wellenförmiger Bahn, wie namentlich von Popper gezeigt wurde, erheblich unökonomischer ist als die Translation in geradliniger Bahn. Seitdem es gelungen ist, Motore von großer Leichtigkeit zu bauen, besitzen die Segelballons nur mehr historisches Interesse. Das erste Projekt eines Segelballons stammt von Scott aus dem Jahre 1789. Der fischförmige Ballonkörper hat im vorderen Teile ein und im Achterende zwei Ballonets, mittels denen die Längsachse in einem Winkel zum Horizonte gestellt werden kann. Infolge dieser Schrägstellung der Achse erhebt sich der Ballon, wenn man ihm einen gewissen Auftrieb gibt, nicht lotrecht, sondern schräg. Der lotrecht nach oben gerichtete Auftrieb und der Luftwiderstand gegen die Oberseite des Ballons setzen sich zu einer Mittelkraft zusammen, in deren Richtung sich der Ballon bewegt. Zerlegt man den Luftwiderstand gegen die Oberseite des Ballons in eine lotrechte und eine horizontale Komponente, so wirkt die lotrechte dem Auftrieb entgegen und vermindert diesen. Die Steiggeschwindigkeit nimmt, wenn der Auftrieb konstant bleibt, so lange zu, bis der Abtrieb gleich wird dem Auftrieb. Die horizontale Komponente des Luftwiderstandes wirkt als Vortrieb. Daraus erhellt, daß der Ballon auch eine horizontale Geschwindigkeit annehmen muß. Hat man die

Digitized by Google

gewünschte Höhe erreicht, so wird durch Einpumpen von Luft in das vordere Ballonet die Längsachse des Ballons so gestellt, daß sie mit der Zenitalrichtung einen Winkel über neunzig Grad einschließt. Infolge der Verminderung der Luftverdrängung des Füllgases entsteht ein Abtrieb, der dem Ballon eine Sinkgeschwindigkeit erteilt. Die Luft drückt nun gegen die Unterseite des Ballons. Der Luftwiderstand setzt sich mit dem Abtrieb zu einer Mittelkraft zusammen, die den Ballon in einer Richtung schräg nach unten bewegt. Zerlegen wir den jetzt nach oben gerichteten Luftwiderstand wieder in zwei Komponenten, so wirkt die lotrechte dem Abtrieb entgegen, die horizontale fungiert als Vortrieb. Es ist also ersichtlich, daß bei der Steig- und Sinkbewegung des Segelballons stets ein Vortrieb auftritt. Der Ballon bewegt sich demnach in wellenförmiger Bahn vorwärts. In windstiller

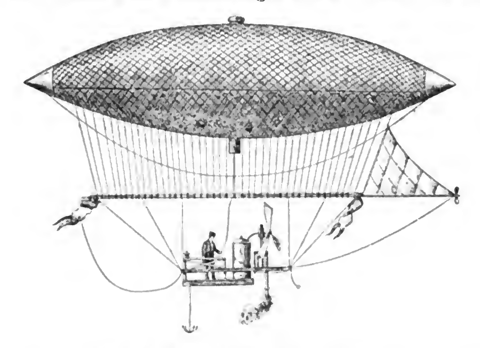


Fig. 53. Lenkballon von Henri Giffard.
Erster Motorballon, angetrieben durch eine Dampfmaschine. Modell von 1852.

Luft ist auf diese Weise eine Translation erzielbar. Gegen stärkere Winde kann aber ein derartiger Segelballon nicht ankämpfen, da die dazu erforderlichen Vortriebskräfte sich praktisch nicht erzielen lassen. Der Vortrieb stellt ja immer nur einen geringen Bruchteil der lotrechten Komponente des Luftwiderstandes bei der Steig- und Sinkbewegung dar. Der Auf-, bzw. Abtrieb des Ballons mußte deshalb entsprechend groß genommen werden, um den genügend großen Vortrieb zu erzielen, der den Segelballon befähigt, auch gegen kräftigere Strömungen anzufahren. Die Erzeugung der Translation erfolgt deshalb ökonomischer durch Anwendung einer Propulsionskraft, die von den Niveauänderungen des Ballons unabhängig ist, d. i. mittels eines durch einen mechanischen Motor betätigten Propellers. Diese Bemerkungen über den Segelballon wurden eingeschaltet, weil von Anfängern nach dieser Richtung hin gelegentlich noch immer neue Projekte ausgedacht werden, die entweder unrealisierbar oder doch

Digitized by Google

praktisch völlig wertlos sind. Der Segelballon und der Wellenflug kann lediglich nur mehr historisches Interesse beanspruchen.

Aus dem Jahre 1825 stammt ein Projekt von Genet, das durch die Methode des Antriebes und die Ballonform bemerkenswert ist. Der Tragkörper hat ungefähr die Form eines halben Rotationsellipsoides. An die ebene Unterfläche ist die zu einer großen Plattform ausgebildete Gondel angebracht. Die motorische Kraft wird von zwei Pferden geliefert, welche an einem Göpel arbeiten und vermittels Kegelzahnräder eine horizontale, senkrecht zur Flugrichtung stehende Achse in Drehung versetzen. An dieser Achse sitzen zwei eigentümlich konstruierte Schaufelräder. Die eine Hälfte der Schaufeln ist durch ein knapp anliegendes trommelartiges Gehäuse abgedeckt, so daß immer nur die nach unten schlagenden Schaufeln in freier Luft arbeiten. Die Gondelplattform ist auch mit einem Apparat zur Erzeugung von Wasserstoffgas ausgerüstet, um den Gasverlust des Ballons ersetzen zu können. Das Projekt ist wohl recht originell, aber praktisch ebenso wertlos, wie alle bisher erwähnten, jenes von Meusnier ausgenommen. Ein zur Horizontalebene unsymmetrischer Tragkörper ist praktisch nur verwendbar, wenn die konvexe Seite nach unten liegt, weil sonst durch den Luftwiderstand ein dynamischer Abtrieb entsteht, der nur durch einen gleich großen Auftrieb kompensiert werden kann.

Eine vergleichsweise außerordentlich rationelle Konstruktion ist der nach den Ideen von Le Berrier von Lennox im Jahre 1834 in Paris ausgeführte Lenkballon von zylindrischer Form mit kegelförmigen Zuspitzungen. Der Tragkörper war 45 Meter lang und hatte 14 Meter größten Durchmesser. Die knapp unter dem Ballon suspendierte Gondel war gegen 21 Meter lang und für 16 Personen bestimmt. Die Propulsion sollte durch vier Schaufelräder und eine große Anzahl von großen Rudern von 3 Quadratmeter Fläche bewirkt werden. Ein mechanischer Motor war nicht vorgesehen, der Antrieb der Propeller sollte durch die Gondelinsassen erfolgen. Der Ballon wurde von den ungeduldigen Zuschauern zerstört, noch ehe es zum Aufstiege kam, und der Versuch nicht mehr wiederholt. Die Konstruktion von Lennox muß, wie alle anderen, an der Kraftfrage scheitern. Das gleiche gilt von den im folgenden erwähnten Projekten, die lediglich zeigen sollen, wie Aeronautik immer mehr zum Tummelplatze der müßigen Hirngespinste der Dilettanten wurde. Ferrand projektierte 1835 einen zylindrischen Ballon, der auf seiner ganzen Länge mit schraubenförmigen Segeln versehen sein sollte, eine Idee, welche in neuerer Zeit (1884) von Lassie wieder aufgenommen wurde. Renou-Grave wollte (1844) zehn Ballons in eine gemeinsame Hülle einschließen, so daß sie einen langen Tragkörper bildeten, der vorne und hinten mit zwei Masten und Segeln versehen war. Den ersten Teil dieses Projektes finden wir in neuester Zeit bei dem großen Lenkballon von Zeppelin verwirklicht. Aus dem Jahre 1850 stammt das Projekt eines Fischballons von Samson. Durch Schaufelräder sollte die Propulsion des fischförmigen, vorne kegelförmig zugespitzten Tragkörpers erfolgen. Außerdem war dieser mit seitlichen Schlagflügeln versehen, die einen aerodynamischen Auftrieb erzeugen sollten.

Digitized by Google

Das Projekt gehört also eigentlich der gemischten Type an. Es stellt eine Verbindung des aerostatischen mit dem aerodynamischen Auftriebsprinzip dar. Aus dem folgenden Jahre (1851) datiert das Projekt eines Metalluftschiffes von Prosper Meller. Der zylindrische Ballonkörper mit konischen Zuspitzungen ist ganz aus Eisenblech hergestellt gedacht. Der Antrieb soll durch eine Serie von 16 Luftschrauben erfolgen, die zu je acht zu beiden Seiten des Tragkörpers ein wenig unterhalb dessen Mittelachse, also nahezu in der Linie des Widerstandsmittelpunktes angeordnet waren. Knapp unter dem Tragkörper sind die durch die ganze Länge des zylindrischen Teiles des Ballonkörpers laufenden Gondeln in zwei Stockwerken anmontiert. In einer Distanz, gleich dem Durchmesser des Ballons, befindet sich eine dritte kurze, schiffchenförmige Gondel. Diese dient anscheinend als verschiebbares Laufgewicht, um die Neigung der Ballonachse ändern zu können. Den Vortrieb denkt sich Prosper Meller darnach in analoger Weise erzielt wie bei dem schon erwähnten Segelballon von Scott. Das Projekt von

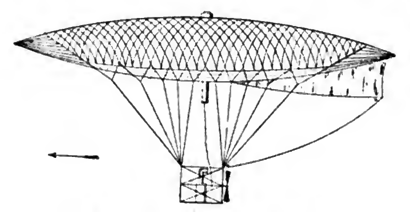


Fig. 54. Lenkballon von Giffard.
Modell Nr. 2 von 1855.

Prosper Meller zählt neben den von Meusnier und Le Berrieur-Lennox jedenfalls zu den rationellsten des ersten Abschnittes der Entwicklungsgeschichte des Lenkballons. Es steht vom rein theoretischen Standpunkte sogar über dem Projekt von Meusnier durch die Anordnung der Propeller im Widerstandspunkte und deren starre Verbindung mit dem Tragkörper. Der Vorschlag der Herstellung der Ballonhülle aus Metallblech muß als außerordentlich kühn bezeichnet werden. Er wurde mehr als vier Jahrzehnte später in dem starren Aluminiumballon von Schwarz verwirklicht. Die Idee, die Hülle direkt aus Stahlblech herzustellen, fand selbst in neuester Zeit noch Anhänger. Im Jahre 1904 sollte in Wien ein großer lenkbarer von 6800 Kubikmeter Inhalt gebaut werden, dessen Tragkörper als starres Gerüste ausgebildet war, überkleidet mit Bessemerstahlblech von 0·25 bis 0·40 Millimeter Stärke. Durch Falzen und Löten sollten die Platten luftdicht aneinander gefügt werden. Die Konstruktion kam nicht ganz zur Durchführung, wohl wegen der ersichtlichen Unmöglichkeit, einen derartig großen starren Tragkörper praktisch zu bauen.

Das ungeheure Aufsehen, das die Erfindung des Luftballons in der ganzen Welt erregte, brachte es mit sich, daß Personen der ver-

Digitized by Google

schiedensten Berufsklassen sich mit dem Problem der Lenkbarmachung beschäftigten. Es wurden die abenteuerlichsten Projekte erdacht, die meist um so größeres Aufsehen in Laienkreisen erregten, je abstruser sie waren. Die Vertreter der offiziellen Wissenschaft, welche anfangs der Lenkungsfrage großes Interesse entgegenbrachten, zogen sich, dadurch degoutiert, von der Sache immer mehr zurück und überließen das Terrain so ganz den Phantasten und Scharlatanen. Man muß in der Geschichte der automobilen Luftschiffahrt eben streng zwischen zwei Gruppen von Erfindern unterscheiden: Man muß die Projekte der Dilettanten, der bedauerlichen armen Käuze, die an der „Ballonmanie“ litten und in dem Wahne lebten, das „Problem der Lenkbarkeit“ des Ballons gelöst zu haben, während sie meist über die einfachsten physikalischen Grundsätze sich nicht völlig klar waren, trennen von den Arbeiten der wirklichen Fachaeronauten, die über die erforderliche fachtechnische und wissenschaftliche Bildung verfügten, um mit Aussicht auf Erfolg an die Bearbeitung des so schwierigen Problems herantreten zu können. Ein typisches Beispiel für das Projekt eines Erfinders der ersten Art bildet jenes des ehemaligen Strumpfwirkers Pétin. Auf einer großen Plattform sind vier Kugelballons fixiert. In der Mitte des Apparates befinden sich zwei mächtige Halbkugeln aus Stoff. Am Holzgerüst sind weiters verstellbare geneigte Flächen angebracht zum schrägen Auf- und Absteigen. Den Antrieb des ganzen Apparates sollen zwei Schrauben besorgen. Diese sind unterhalb der als Fallschirm wirkenden Halbkugeln montiert und sollen durch Turbinen getrieben werden, die durch die von den Fallschirmen „komprimierte Luft“ in Rotation gesetzt werden. Diese Bemerkungen genügen wohl, um die Unsinnigkeit des Projektes und dessen technische Unrealisierbarkeit darzulegen. Ein Landsmann Pétins, der aeronautische Geschichtschreiber Lecornu, nennt Pétins Projekt „das armseligste, das man sich denken kann“ und meint, man stehe „beschämt zu sehen, wie sich für ein so klägliches Hirngespinst die öffentliche Meinung begeistern konnte“. Pétin ist nach dem gleichen Autor „kaum imstande gewesen, die Auftriebskraft seines Ballons zu berechnen“.

Unter diesen Umständen ist es begreiflich, wenn das Problem der Lenkbarmachung des Luftballons gleich dem perpetuum mobile von der ernsten Forschung allmählich auf den index prohibitorum gesetzt wurde. Einzelne hervorragende aeronautische Techniker, in erster Linie Giffard, Dupuy de Lôme und Hänlein, suchten wohl durch ihre nach allen Regeln der Kunst durchgeführten Konstruktionen das Vorurteil gegen den Ballon wieder zu beseitigen. Allein erst nach den berühmten Fahrten von Renard begann allmählich die pessimistische Stimmung der technischen und wissenschaftlichen Kreise gegen den Lenkballon wieder einer günstigeren Meinung Platz zu machen. Santos-Dumont trug dann durch seine zahlreichen kühnen Luftfahrten mit einer ganzen Reihe von Lenkballons wesentlich dazu bei, das aerostatische Luftschiff auch in weiteren Kreisen populär zu machen. Die glänzenden Leistungen des Ballons von Julliot-Lebaudy bewirkten schließlich einen völligen Umschwung der Anschauungen hinsichtlich der Verwendungsfähigkeit von Lenkballons.

Digitized by Google

Die Konstruktionen von Giffard und Renard bilden demnach einen markanten Abschnitt in der Entwicklungsgeschichte des Lenkballons; wir grenzen deshalb die zweite Periode ab mit der Konstruktion des ersten, durch eine Dampfmaschine getriebenen Ballons von Giffard und den ersten Fahrten in geschlossener Kurve (also mit Landung am Aufstiegsorte) durch den Ballon „La France“ von Renard.

Von Henri Giffard bis Charles Renard.

Lenkballons, angetrieben durch mechanische Motore: Dampfmaschine, Gasmotor, Elektromotor. Wir haben gesehen, daß schon kurz nach der Erfindung des Luftballons Meusnier das Problem der Lenkbarmachung des Ballons physikalisch und

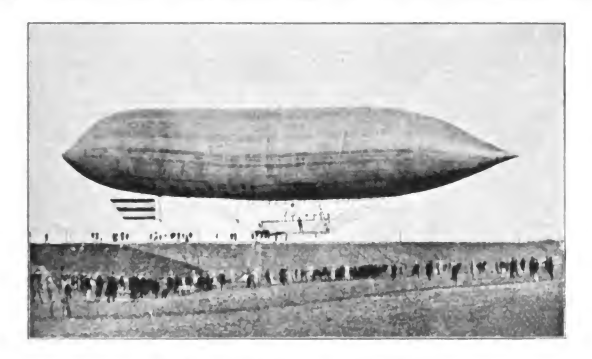


Fig. 55. Lenkballon von Paul Hänlein.
Erbaut 1872 in Brünn.

technisch erledigte. Der von ihm projektierte Spitzballon mit Ballonets und Propeller stellt eine so vollständige theoretische Lösung der Steuerungsfrage dar, daß wir auch heute noch keine rationellere an deren Stelle setzen können. Die technische Realisierung des Lenkbarkeitsproblems mußte aber an der Kraftfrage scheitern, da der animalische Motor im Verhältnis zu seiner Leistung sich als viel zu schwer erwies. Es blieb also noch ein prinzipieller Schritt zu tun. Die Anbringung eines mechanischen Motors, der bei gleichem Gewichte eine erheblich größere Arbeit zu leisten vermochte als der animalische Motor.

Erst nahezu sieben Jahrzehnte nach der Erfindung des Luftballons gelang es Giffard, diesen zweiten Schritt zur praktischen Lösung des Problems der Lenkbarmachung auszuführen. Er konstruierte eine Dampfmaschine, die so leicht war, daß er daran denken konnte, sie

Digitized by Google

als Antriebskraft eines Spitzballons zu verwenden. Giffards Einzylinder-Dampfmaschine leistete drei Pferdekräfte und wog 150 Kilogramm, davon entfielen 100 Kilogramm auf den Kessel und 50 Kilogramm auf den eigentlichen Motor. Die mittlere Arbeitsleistung eines Mannes von rund 75 Kilogramm Gewicht kann zu 8 Meterkilogramm angesetzt werden. Für eine kontinuierliche Leistung von drei Pferdekräften wären also etwa 28 Mann erforderlich. Giffards Dampfmaschine wog 150 Kilogramm, das Gewicht der 28 Mann würde 2100 Kilogramm betragen, d. i. 14 mal so groß sein. Diese Zahlen lassen in anschaulicher Weise die Bedeutung der Leistung Giffards erkennen. Er brachte es also zustande, einen Motor zu bauen, der bei gleicher Leistung bloß den 14. Teil des bis dahin einzig und allein verwendeten animalischen Motors ausmacht. Giffards Motor bestand aus einem vertikalen Zylinder, in welchem sich ein Kolben bewegt, der vermittels einer Treibstange die am oberen Rande angebrachte Kurbelachse in Drehung versetzt. Diese Achse trägt an ihrem äußersten Ende eine dreiflügelige Propulsionsschraube von 3·4 Meter Durchmesser, welche 110 Umdrehungen in der Minute ausführte. Der vertikale Kessel mit Innenfeuerung hatte keine Röhren; äußerlich war er zum Teil mit Blechwandungen umgeben, welche als Wärmeschutz und zugleich zur Abkühlung der durch den Zwischenraum streichenden Verbrennungsgase dienten. Der Schornstein läuft von oben nach unten. Der Zug wird durch den Dampf erzeugt, der mit großer Kraft dem Zylinder entströmt und, indem er sich mit dem Rauch vermischt, die Temperatur desselben noch bedeutend vermindert. Der Koks, welcher zur Heizung verwendet wurde, brannte auf einem rings vom Aschenbehälter umgebenen Roste, „so daß es“, nach Giffards eigenen Worten, „unmöglich ist, von außen auch nur eine Spur von Feuer zu bemerken.“ Trotzdem war es gewiß ein außerordentlich kühner Gedanke und eine heroische Tat einen derartigen Motor mit äußerer Feuerung an eine so explosive Gasblase zu hängen, wie sie der Ballon darstellt.

Giffard war sich der Schwierigkeiten des Problems, an das er sich heranwagte, vollkommen klar bewußt. Er erkannte die Notwendigkeit, sich zunächst mit der Technik des gewöhnlichen Kugelballons vertraut zu machen und führte zu diesem Zwecke eine Reihe von Ballonfahrten aus, anfangs mit den berühmten Professionalaeronauten Brüder Godard, später allein. So vorbereitet, schritt Giffard an die Konzeption seiner Luftschiffkonstruktion. Als Tragkörper wählte er einen spindelförmigen Spitzballon von 44 Meter Länge und 12 Meter größtem Durchmesser mit einem Inhalt von rund 2500 Kubikmeter. Mit Ausnahme der unteren Partie und der Spitzen ist der ganze Tragkörper mit einem Netz umgeben, dessen äußerste Enden sich in einer Anzahl von Tauen vereinigen, die an einer horizontalen hölzernen Querstange von 20 Meter Länge befestigt sind. Sechs Meter unterhalb der Querstange hängt die korbartige Gondel, die den Motor samt Propeller, das Speise- und Brennmaterial trägt. Mit Leuchtgas gefüllt, gab der Ballon einen Auftrieb von rund 1800 Kilogramm. Das tote Gewicht der ganzen Konstruktion betrug 1420 Kilogramm. Davon entfallen auf den Ballon samt Ventil 320 Kilogramm; das Netz 150 Kilogramm; die Querstange, Aufhängetaue, Steuer und Ankertaue 300 Kilogramm; Gondel samt

Digitized by Google

Motor und Zubehör, sowie das 80 Kilogramm schwere Schleppseil 650 Kilogramm. Bei einer Nutzlast von einer Person und einem freien Auftrieb von 10 Kilogramm konnten sonach noch 300 Kilogramm Ballast in der Form von Kohle und Wasser mitgenommen werden.

Der erste Versuch erfolgte Freitag den 23. September 1852. Giffard führte den Aufstieg allein aus. Durch die kräftige Luft-

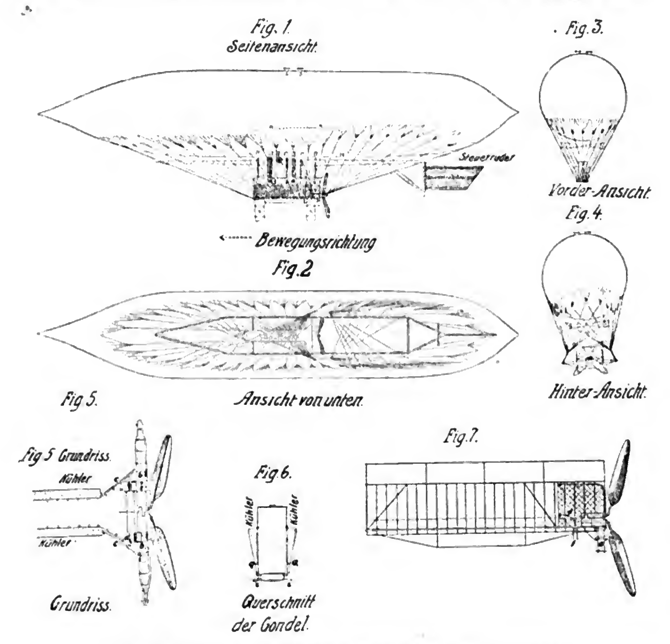


Fig. 56. Schnitte und Details des Hänleinschen Luftballons.

strömung, die am Aufstiegstage herrschte, wurde der Ballon in der Richtung des Windes abgedriftet. Der Ballon erreichte eine Höhe von 1800 Meter. Nach Einbruch der Nacht löschte der kühne Luftschiffer das Feuer mit Sand aus und ließ dann, alle Hähne öffnend, den Dampf entweichen. Die Landung, welche bei vollständiger Dunkelheit in der Nähe von Trappes bewerkstelligt wurde, erfolgte vollkommen glatt. Da der Ballon nicht nach seiner Abfahrtsstelle zurückgekehrt war,

Digitized by Google

nahm die offizielle Wissenschaft keinerlei Notiz von dem Versuch, obwohl dieser ersichtlich einen außerordentlichen Fortschritt bedeutete. Giffards Leistung wurde deshalb leider zu wenig gewürdigt und doch müssen wir den genialen Techniker den ersten Pfadsuchern auf dem Gebiete der automobilen Luftschiffahrt beizählen. Infolge mangelnder Mittel mußte Giffard zunächst von einer Fortsetzung der Versuche absehen. Er wandte sich jetzt ganz der Maschinentechnik zu und es gelang ihm, kurze Zeit darauf eine Dampfstrahlpumpe zu konstruieren, welche die Speisungspumpen bei den Dampfmotoren entbehrlich machte. Der Giffardsche Injektor brachte seinem Erfinder in kurzem ein Vermögen von Millionen.

Im Jahre 1855 ließ Giffard einen neuen Ballon konstruieren, dessen Tragkörper erheblich größer war als das erste Modell. Dieser faßte 3200 Kubikmeter, hatte wieder Spindelform, war aber viel schlanker. Seine Länge betrug 70 Meter, sein größter Durchmesser war 10 Meter. An Stelle der Tragstange brachte Giffard im oberen Teil der Hülle in der Längsrichtung eine der Gestalt entsprechende Versteifung an, an welcher das Netz festgemacht war. Die Auslaufleinen des Netzes gingen direkt zu den vier Ecken der Gondel. Der Motor war derselbe geblieben. Das zweite Modell weist in konstruktiver Hinsicht einen sehr erheblichen Fortschritt gegenüber dem ersten auf. Giffard beging jedoch einen schweren Kunstfehler, der ihm beim ersten Versuche mit dem zweiten Modell auf ein Haar mit seinem Begleiter Yon das Leben gekostet hätte. Er unterließ es, seine Ballons mit einem Meusnierschen Ballonet auszustatten. Infolge des Gasverlustes während des Aufstieges wurde der Ballon beim Abstieg schlaff. Dadurch wurde die Gewichtsverteilung ungleichförmig, das Netz rutschte nach hinten und die Spitze richtete sich empor. „Die beiden Experimentatoren hatten nur noch eben soviel Zeit, das Ventil so weit als möglich aufzureißen und unter wirbelnden Strömen von Dampf und Rauch die Erde zu gewinnen. In dem Augenblick, als die Gondel den Boden berührte, war der Ballon vollständig von dem Netze befreit und schoß, seiner Last ledig, zu den Wolken empor.“ (Graffigny.) Der kühne Forscher ließ sich aber durch den Mißerfolg nicht entmutigen. Er erkannte die Notwendigkeit, die aeronautische Baukunst noch gründlicher zu studieren. Zu diesem Zwecke konstruierte er nach und nach seine berühmten Fesselballons in Paris und London 1867 und 1878 von 5000, beziehungsweise 11.500 und 25.000 Kubikmeter Inhalt. Der letztgenannte Kaptiv stellt ein Meisterwerk der aeronautischen Technik dar. Der kugelförmige Ballon hatte einen Durchmesser von 36 Meter und wog 5300 Kilogramm. Die Hülle bestand aus einer fünffachen Stofflage von Musselin und Leinwand mit Zwischenlagen von Kautschuk. Das Netz zählte 52.000 Maschen und wog 3300 Kilogramm. Die Gondel bestand aus einer Plattform von 6 Meter Durchmesser; sie bot Raum für 40 Personen und hatte samt Ausrüstung ein Gewicht von über 4900 Kilogramm. Das ganze System war 55 Meter hoch. Der Ballon wurde an einem 600 Meter langen Kabel aufgelassen, dessen Stärke von 65 auf 85 Millimeter zunahm. Die Einholung erfolgte mittels einer Dampfmaschine von 300 Pferdekräften. Zur Füllung des Ballons wurden 190.000 Kilogramm Schwefelsäure und 80.000 Kilogramm Eisenfeilspäne

Digitized by Google

verwendet. Die angeführten Zahlen genügen schon, um sich ein Bild von der gigantischen Konstruktion zu machen. Diese sollte, wie erwähnt, zum Vorstudium dienen für den Entwurf eines Lenkballons, der einen Tragkörper von 50.000 Kubikmeter (!) Inhalt erhalten sollte. Zum Antrieb war ein Motor mit zwei Kesseln vorgesehen, von denen der eine mit dem Gas des Ballons, der andere mit Petroleum geheizt wurde, zur Ausgleichung der Verluste an Gewicht und Steigkraft. Der Abdampf sollte durch Kondensatoren mit großer Oberfläche aufgefangen werden, um so den Speisewasserverlust auf ein Minimum zu beschränken. Giffard hat das ganze Projekt bis ins kleinste Detail ausgearbeitet und auch die zu dessen Ausführung nötige Million bei einem Bankhause erlegt. Durch eine Krankheit büßte der unermüdliche Forscher sein Augenlicht ein. Es war ihm nicht mehr vergönnt, sein Projekt auszuführen. Giffards Bestreben, die Dimensionen des Tragkörpers immer mehr zu vergrößern, war vom praktisch konstruktiven Standpunkte aus zweifellos ein Irrweg, denn die Schwierigkeiten wachsen mit der Zunahme der Dimensionen ins Ungemessene. Es gibt eine kritische Größe des Trag-

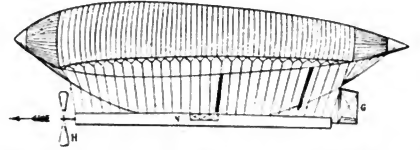


Fig. 57. Schematische Darstellung des Lenkballons von Renard-Krebs.
H Propulsionsschraube an der Bugseite angebracht, nicht ziehend, *G* vertikales Steuer für Kursänderungen in der Horizontalebene, *N* Motor.

körpers, über die man bei rein aerostatischen Luftschiffen nicht wird hinausgehen dürfen, so verlockend die Vorteile der Vergrößerung vom theoretischen Standpunkte aus auch erscheinen mögen. Der Kernpunkt des Problems liegt in der Verminderung des Stirnwiderstandes, der Erhöhung der Propulsionskraft und der Vergrößerung der Motorleistung.

Als Rückschritt gegen Giffard muß die von Dupuy de Lôme im Jahre 1872 erprobte Konstruktion bezeichnet werden, weil dieser zum Antrieb wieder animalische Kraft statt des viel wirkungsvolleren mechanischen Motors verwendete. Auch die Form des spindelförmigen Tragkörpers erscheint wesentlich ungünstiger. Dieser hat bei einer Länge von 36 Metern einen größten Durchmesser von nahe 15 Metern, ist also viel plumper als der Tragkörper von Giffard. Der Fassungsraum des Ballons war 3450 Kubikmeter, also ein wenig größer als jener des zweiten Modelles von Giffard. Zum Antrieb der vierflügeligen Schraube von 9 Meter Durchmesser dienten 14 Matrosen, deren Arbeitsleistung auf $1^1/_2$ Pferdekräfte geschätzt werden kann. Für ganz kurze Zeit kann die Leistung aber auch auf das Drei- bis Vierfache angesetzt werden. Eine erhebliche Eigengeschwindigkeit konnte nicht erzielt werden.

Digitized by Google

Im Jahre 1865 nahm der deutsche Techniker Paul Hänlein ein Patent auf die Kombination der Gasmaschine mit dem Ballon. Die Füllung des Tragkörpers sollte zur Speisung des Motors dienen. Hänlein baute zunächst ein Modell von 12 Meter Länge, angetrieben durch eine Luftschraube, die durch eine kleine Gasmaschine betätigt wurde. Siebzehn Jahre später gelang es Hänlein sein Projekt in wesentlich verbesserter Form im großen auszuführen. Der Tragkörper hat im Gegensatz zu den Konstruktionen von Giffard und Dupuy zylindrische Form mit abgerundeten kegelförmigen Zuspitzungen, welche der unter Wasser liegenden Kiellinie der Wasserschiffe nachgebildet war. Die Wölbung der Zuspitzung war also gegen die Längslinie des Schiffes nicht, wie dies bei allen anderen Konstruktionen der Fall ist, konvex, sondern sie ist nächst der Spitze konkav und geht dann erst in die konvexe Krümmung. Die Schnitte durch den Tragkörper ergeben also eine doppelt gekrümmte Kurve. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß diese Ballonform noch einmal den Ausgangspunkt für eine neue Phase in der Ballonbautechnik. bilden wird. Die Ballonlänge betrug 50 Meter, der größte Durchmesser war ein wenig über 9 Meter. Die Hülle war aus doppelt gummiertem Seidenstoff hergestellt und faßte 2400 Kubikmeter. Als Motor diente eine Gasmaschine nach dem System Lenoir mit vier horizontalen, zu zwei und zwei gegenüberliegenden Zylindern, die auf eine gemeinschaftliche Kurbelachse mit vier Kurbeln einwirkten. Der Zylinderdurchmesser betrug 16 Zentimeter, der Hub war 24 Zentimeter. Zylinder und Zylinderdeckel sind mit Kühlwasser umgeben und die Kühlwasserräume stehen durch kommunizierende Röhren miteinander in Verbindung. Die beiden Speisepumpen für die Kühler werden durch die Exzenter der Einlaßschieber bewegt, sie saugen das erwärmte Wasser aus den Zylindermänteln und drücken es in die oberen Röhren der Kühler, die zu beiden Seiten der Gondel angeordnet waren. Bei 90 Touren in der Minute leistete der Motor effektiv 3·6 Pferdekräfte. Als Propeller diente eine vierflügelige Luftschraube von 4·6 Meter Durchmesser und 6 Meter Steigung. Die Flügelform war der Griffithschraube nachgebildet. Die Arme der Flügel sind aus Holz angefertigt und solid mit der Rotgußnabe am Motor verbunden. Die Flügel selbst sind aus dünnem Eisenblech geformt und mit den Armen durch eiserne Sprossen verbunden. Die Gondel, aus weichem Holz konstruiert, besteht aus zwei gitterartigen Langträgern, einem Hauptquerträger für die Maschine und einem zweiten leichteren Querträger. Die Kühler bilden noch Längsverstrebungen für die Gondel. Vorn und hinten unter der Gondel sind zwei aus spanischem Rohr konstruierte Stoßpuffer angebracht, welche die Schraube beim Niederlassen des Ballons vor dem Aufstoßen auf der Erde schützen.

Der Motor entnimmt das zu seiner Speisung nötige Gas dem Tragballon durch ein Verteilungsrohr. In dem Maße, als der Motor Gas konsumiert, wird das Ballonet mit Luft aufgeblasen, um die Hülle stets straff zu erhalten.

Die Anwendung der Gasmaschine an Stelle der gefährlichen Dampfmaschine, die Tragballon- und Schraubenkonstruktion, bedeuten einen sehr erheblichen Fortschritt gegenüber den bisher er-

Digitized by Google

probten Lenkballontypen. Eines der prinzipiellsten Details der Hänleinschen Konstruktion ist weiters die Art der Suspension der Gondel und ihrer Verbindung mit dem Ballonkörper. Der obere Teil des Ballons ist in ein feinmaschiges Netz eingehüllt, das in Gänsefüße ausläuft. Von den Gänsefüßen führen Auslaufsleinen zur Gondel und sind an deren unteren Längsträgern befestigt. Um den horizontalen Zug, welchen die vorderen und hinteren Schnüre auf die Gondel ausüben, aufzuheben, werden diese durch weitere Schnüre diagonal unter der Gondel herlaufend verbunden. Die ganze Gondel ruht so gewissermaßen in einem Schnürwerk, ist ferner an einer großen Anzahl einzelner Punkte aufgehängt, wodurch das ganze System nur in geringem Grade auf Biegungsfestigkeit in Anspruch genommen wird. Zwischen Gondel und Ballon, fünf Meter unter der Ballonachse, ist ein Rahmen angebracht, dessen Grundriß eine solche Form hat, daß die Schnüre, welche die Gondel mit dem Netze verbinden, den Rahmen tangieren und an ihm befestigt sind. Dieser Rahmen hat den Zweck, eine gewisse Verbindung zwischen Gondel und Ballon zu vermitteln; er trägt ferner die Pfosten und Streben für das Steuer, Querverbindungen für die Transmission des Steuers und dient vier schrägen Streben, die mit ihrem unteren Ende an die Gondel befestigt sind, als Stützpunkt. Die Gondel ist durch diese Anordnung mit dem Ballon zu einem zusammenhängenden, wenn auch in gewissen Grenzen elastischen Ganzen verbunden. Außer den gewöhnlichen Gaseinlaß- und Gasauslaßventilen ist der Tragkörper noch mit zwei Sicherheitsventilen versehen, die bei 5 Millimeter Wasserüberdruck sich öffnen. Die Ballonhülle hatte eine Oberfläche von 1145 Quadratmeter und wog 350 Kilogramm, also 306 Gramm pro Quadratmeter. Das Gesamtgewicht des Systems betrug 1406 Kilogramm. Davon entfallen auf den Ballon samt Netz 496 Kilogramm, die Gondel samt Gesamtrahmenwerk, Puffer und Steuer 373 Kilogramm und den Motor samt Kühler und 75 Kilogramm Kühlwasser 458 Kilogramm. Mit Leuchtgasfüllung vom spezifischen Gewichte 0·45 ergab sich demnach ein Nutzauftrieb von etwas über 300 Kilogramm.



Fig. 58. Lenkballon „La France“ von Renard-Krebs.

Von vorne gesehen. An der Rückseite der langen Gondel erkennt man eine horizontale Fläche; die Stabilisierungs- und Dämpfungsfläche für Schwingungen um die Längsachse, welche von Renard zum ersten Male angewendet wurde.

Der erste Versuch fand am 13. Dezember 1872 in Brünn statt.

Digitized by Google

Der Ballon erreichte angeblich eine Eigengeschwindigkeit von wenig über ein Meter in der Sekunde. Die Probefahrten konnten nicht fortgesetzt werden, da das Konsortium, das die Mittel zum Baue des Ballons aufgebracht hatte, sich auflöste. Wäre die Kraftfrage bei der praktischen Lösung des Problems der Lenkbarmachung des Ballons nicht von fundamentalster Bedeutung, so hätte schon Hänlein mit seiner Konstruktion einen augenscheinlichen Erfolg erzielen müssen. Seine Ballontype ist in technisch-konstruktiver Hinsicht genial durchgearbeitet und weist viele und prinzipielle Verbesserungen selbst gegenüber Giffard und Dupuy auf. Die wichtigsten derselben sind die günstigere Form des Tragkörpers, die rationellere Schraubenkonstruktion, die erhebliche Annäherung des Propulsions- an den Widerstandspunkt, sowie die elastisch-starre Verbindung zwischen Gondel und Tragkörper. Man muß es bedauern, daß es Hänlein nicht möglich war, seinen Ballon mit Wasserstoffgas zu füllen und eine größere Anzahl von Fahrten auszuführen. Er hätte in diesem Falle einen um nahezu 1500 Kilogramm schwereren Motor mitführen können, der wohl hingereicht hätte, dem Ballon eine erhebliche Eigengeschwindigkeit zu erteilen. Die Konstruktion Hänleins bedeutet jedenfalls ein lebendiges Glied in der Entwicklung des Lenkballons, die konstruktiv jener der berühmten „La France“ von Renard nicht nur gleichgestellt werden kann, sondern in manchen Punkten diese noch überragt. Wir werden sehen, daß der gerade Weg der Entwicklung zu der besterprobten und absolut vollkommensten aller modernen Lenkballontypen von Julliot-Lebaudy über Hänlein und nicht über Renard führt. Erst in der neuesten deutschen aeronautischen Literatur werden die Leistungen Hänleins in gebührender Weise gewürdigt. In der ausländischen Literatur, selbst in dem sonst so vortrefflichen großen Werke von Lecornu vermißt man aber leider noch immer den objektiven Standpunkt bei der Beurteilung der Arbeiten unseres deutschen Landsmannes.

Im Jahre 1883 experimentierten die Brüder Albert und Gaston Tissandier mit einem durch einen Elektromotor angetriebenen spindelförmigen Spitzballon, der sich in der Architektonik an die Typen von Giffard und Dupuy anlehnt. Die ganze Konstruktion ist aber technisch wenig durchgebildet, die zweiflügelige Schraube ist sehr primitiv gebaut. Entwicklungsgeschichtlich ohne jede Bedeutung, wurde der Versuch der Brüder Tissandier bloß der Vollständigkeit wegen erwähnt. Aus dem gleichen Grunde sei noch eine Idee angeführt, die zuerst 1855 von Fromage angegeben und im Modell ausgeführt und seitdem in einer Reihe von Projekten verwertet wurde. Der Ballon besitzt ein zentrales Mittelrohr, in dem die Propeller arbeiten.

Der zweite Abschnitt in der Entwicklung des Lenkballons brachte, obwohl sich auch hervorragende Fachtechniker an der Mitarbeit beteiligten und außerordentlich bedeutende Vervollkommnungen in technisch-konstruktiver Hinsicht zu verzeichnen sind, dennoch keinen so augenscheinlichen Erfolg, daß die pessimistischen Anschauungen, die in den wissenschaftlichen Kreisen über die Lenkungfrage herrschten, dadurch umgestoßen worden wären. Der wesentlichste Fortschritt lag in der Ersetzung des animalischen Motors durch den viel wirksameren

Digitized by Google

mechanischen Motor. Giffard rüstete seinen Ballon mit einer Dampfmaschine aus, Hänlein ersetzte diese durch den weniger gefährlichen und leichteren Gasmotor. Auch die Architektonik des Tragkörpers, die Suspensionsvorrichtungen und die Propulsionsapparate weisen erhebliche Vervollkommnungen auf. An Stelle der völlig unstarren, bloß durch Seile bewirkten Versteifung der Gondel gegen den Tragkörper setzt Hänlein die elastisch-starre Suspension. Die Vervollkommnung der Type von Giffard führt in der folgenden Entwicklungsperiode zu der Konstruktion von Renard, jene von Hänlein zur Type von Julliot-Lebaudy.

Von Charles Renard bis auf die neueste Zeit.

Die ersten Fahrten in geschlossener Bahn. Das halbstarre, das starre und das unstarre System. Die Theorie und Technik des Lenkballons hatte durch die grundlegenden Arbeiten von Meusnier, Giffard und Hänlein im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts bereits einen hohen Grad der Entwicklung erreicht. Es fehlte aber noch immer an einem augenscheinlichen äußeren Erfolg; denn keinem der bis dahin erprobten Lenkballons war es gelungen, eine Fahrt von längerer Dauer mit Landung am Aufstiegsorte durchzuführen. Darin sah man (und zwar mit Recht) das erste Kriterium der praktischen Lösung des Lenkungsproblems. Diese demonstratio ad oculos gelang es nun im Jahre 1884 Renard und Krebs mit dem von ihnen erbauten Lenkballon „La France“ zu liefern. Dieser lehnt sich in konstruktiver Hinsicht an die Giffardsche zweite Type an, weist aber eine Reihe sehr erheblicher Verbesserungen auf. Der symmetrische spindelförmige Rotationskörper des Tragballons ist durch eine unsymmetrische fischähnliche Form ersetzt. Das stumpfere Ende bildet die Stirnseite des Ballons, das spitzere Ende den Achterteil. Die Länge des Tragkörpers beträgt 50 Meter, der größte Durchmesser war nahe $8^1/_2$ Meter; der Ballon faßte 1860 Kubikmeter. Eine zweite Neuerung bildet die lange, brückenförmige Gondel, welche vermittels eines über die Hülle gelegten Netzes mit Auslaufleinen unmittelbar suspendiert ist. Der Gondelkörper war 33 Meter lang, 2 Meter hoch und 1·4 Meter breit. Die Seitenwände sind zur Verminderung des Luftwiderstandes mit Seide überspannt. Als Propeller dient eine zweiflügelige Schraube, die an der Vorderseite der Gondel angeordnet ist, also ziehend wirkt. Die Schraube hat einen Durchmesser von 7 Meter, wog 41 Kilogramm und lief mit einer Tourenzahl von 40 bis 60 pro Minute. Die ausschlaggebendste Verbesserung, welche der Konstruktion Renards auch den Erfolg sicherte, bildete aber der Motor. Als solcher diente ein

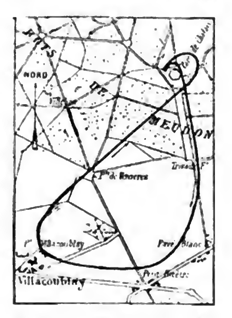


Fig. 59. Fahrtkurve der ersten Auffahrt des Lenkballons „La France“ von Renard-Krebs am 9. August 1884.

Digitized by Google

Elektromotor von Gramme. Der Strom wurde von einer Chlorchromsäurebatterie von 32 Elementen geliefert. Der Motor leistete an der Propellerwelle $8^1/_2$ Pferdekräfte und wog 98 Kilogramm. Die tote Last des Luftschiffes betrug rund 1650 Kilogramm. Davon entfallen auf die Ballonhülle mit Ballonet samt Netz und Suspension 500 Kilogramm, die Gondel 450 Kilogramm, den Motor samt Transmission und Triebwerk 175 Kilogramm, und die Batterie 435 Kilogramm. Da der Auftrieb des mit Wasserstoff gefüllten Ballons rund 2000 Kilogramm erreichte, konnte dieser noch eine Nutzlast von rund 350 Kilogramm, also zwei Personen, und 200 Kilogramm Ballast tragen.

Der erste Versuch mit dem Ballon Renard-Krebs fand am 9. August 1884 statt. Die Erbauer erwiesen sich nicht nur als sehr hervorragende Konstrukteure, sondern sie waren auch Meister in der Tugend der Geduld, einer Tugend, die leider so vielen Mitarbeitern auf dem Gebiete der Aeronautik und Flugtechnik zu ihrem eigenen Schaden fehlte. Renard und Krebs brachten es über sich, fast zwei Monate lang auf genügend windstilles Wetter zu warten. Es ist dies fürwahr eine heroische Leistung, sie bildete geradezu die Vorbedingung zu dem glänzenden Erfolg. Der Laie beurteilt diesen ja ausschließlich darnach, ob es dem Ballon gelingt, am Aufstiegsorte zu landen oder nicht. Renard gab sich bezüglich der Lenkungsfähigkeit seines Fahrzeuges keiner übertriebenen Hoffnung hin. Er wußte ganz genau, daß dieses bloß imstande war, gegen ganz schwache Luftströmungen anzukämpfen und wartete deshalb in geduldiger Selbstüberwindung den Eintritt windstillen Wetters ab. Um 4 Uhr nachmittag des genannten Tages sinkt die Windstärke auf $1^1/_2$ Meter, es herrscht in Bodennähe, also nahe, völlige Windstille. Das Luftschiff wird sofort aus der Halle gebracht und mit ganz geringem Auftrieb hochgelassen. Sowie der Ballon die Höhe der Baumwipfel erreicht, läßt Renard die Schraube angehen. Ihr Vortrieb erteilt dem Fahrzeug rasch eine Geschwindigkeit von 20 Kilometer in der Stunde. Das kaum merkliche Lüftchen weht in der Richtung von Ost nach West. Der Ballon steuert in weitem Bogen gegen Ost nach Süd, führt über Villacoublay, vier Kilometer vom Aufstiegsorte entfernt, einen Halbkreis von etwa 300 Meter Durchmesser aus und steuert dann wieder nach Chalais zurück. Über dem Park der militär-aeronautischen Anstalt angelangt, stellt Renard den Ballon mit der Spitze gegen den Wind, läßt die Schraube so langsam laufen, daß ihr Vortrieb gerade dem Winddruck das Gleichgewicht hält, und manövriert mit dem Steuer so geschickt, daß der Ballon nach einem kurzen Ventilzug in 300 Meter nahezu lotrecht sich senkt und völlig glatt am Aufstiegsorte landet. Die Fahrtdauer betrug 23 Minuten, die zurückgelegte Strecke war 7·6 Kilometer; daraus folgt eine mittlere Fluggeschwindigkeit von 5·5 Meter in der Sekunde. Dieser gelungene Aufstieg erregte in der ganzen zivilisierten Welt das größte Aufsehen. Alle Tagesblätter veröffentlichten begeisterte Artikel, in denen es hieß, daß das „Geheimnis der Lenkung des Ballons“ nun entdeckt sei. Dadurch wurde die Kunde des Erfolges des französischen Militärluftschiffes in die weitesten Kreise getragen. Renard führte im selben Jahre noch zwei Aufstiege aus. Die zweite Fahrt vom 12. September

Digitized by Google

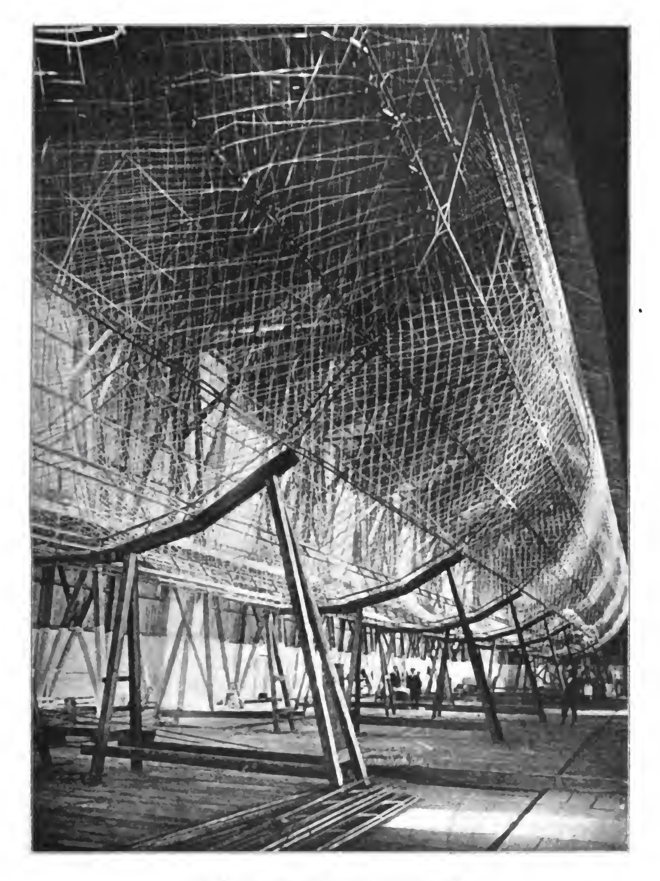


Fig. 60. Lenkballon von Graf Zeppelin.
Traggerüst aus Aluminiumträgern mit Drahtverspannungen. Längsträger und Querringe gut sichtbar. (Aus den Illustr. Aeronautischen Mitteilungen von Moedebeck.)

Digitized by Google

ließ erkennen, daß der Ballon nicht imstande war, gegen eine Luftströmung von 7 Meter in der Sekunde, die noch als „schwacher Wind" bezeichnet wird, anzufahren. Das Fahrzeug wurde in der Richtung des Windes abgedriftet und landete, 5 Kilometer vom Aufstiegsorte, glatt. Der Ballon wurde nicht entleert, sondern an Hand von Pionieren zurücktransportiert. Da Renard um jeden Preis gegen den Wind ankämpfen wollte — erfolgte doch der Aufstieg in Gegenwart des Kriegsministers und sollte so gleichsam als offizielle Prüfung gelten — schaltete er gleichzeitig alle Elemente ein und beanspruchte den Motor über die normale Leistungsfähigkeit. Die Folge war, daß die Achsen heiß liefen und der Motor zugrunde ging. Da der Ballon nicht zum Aufstiegsorte zurückzufahren vermochte, galt die Fahrt als Mißerfolg, der um so deprimierender wirkte, als die Hoffnungen auf das höchste gespannt waren. Renard bestellte bei Gramme eine neue Motorwickelung und konnte bereits am 8. November zwei weitere Fahrten ausführen, welche die Scharte wieder auswetzten. Bei beiden Aufstiegen gelang es, das Luftschiff am Aufstiegsorte zur Landung zu bringen. Im August folgenden Jahres wurden die Probefahrten fortgesetzt. Gleich der erste Aufstieg vom 25. August brachte wieder einen „Mißerfolg". Er erfolgte bei Ostwind von $6^1/_2$ Meter Geschwindigkeit. Das Fahrzeug wurde wohl nicht einfach vom Winde mitgenommen, es führte eine wellenförmige Fahrt aus, es gelang aber doch nicht, zum Aufstiegsorte zurückzusteuern. Zwei weitere Fahrten am 22. und 23. September brachten einen vollen Erfolg. Die erstere erfolgte bei Wind aus Nordnordost von 4 Meter Geschwindigkeit, die letztere bei Wind aus Süd von 1 Meter, also fast völliger Luftruhe. Beide Male stattete Renard mit seinem Ballon der Stadt Paris einen Besuch ab und fuhr dann wieder nach Chalais zurück. Damit war gezeigt, daß das Luftschiff von Renard bis zu Winden von etwa 6 Meter in der Sekunde Herr seiner Bewegungen war und erst bei stärkeren Strömungen die Fähigkeit einbüßt, an jedem Punkte der Windrose zu landen. Renard hat durch seine berühmten Fahrten das experimentum crucis geliefert, daß die Lenkung des Ballons keineswegs in eine Klasse mit dem perpetuum mobile zu stellen sei. An der praktischen Lösbarkeit des Problems war nun nicht mehr zu zweifeln. Es konnte sich jetzt lediglich mehr um schrittweise Vervollkommnungen handeln. Die Fahrten des Luftschiffes „La France" bezeichnen deshalb einen Wendepunkt in der Entwicklung des Lenkballons. Jede Verminderung des Translationswiderstandes von Tragkörper, Gondel und Suspension, jede Erhöhung der Motorkraft mußte unter sonst gleichen Umständen eine Vergrößerung der Eigengeschwindigkeit zur Folge haben. In gleichem Sinne mußte eine Vermehrung der Propulsionskraft der Vortriebsschraube und eine Verminderung der Schwankungen des Tragkörpers um die Längs- und Querachse wirken. Obwohl der Weg der weiteren Entwicklung klar vorgezeichnet war, zogen es die meisten Mitarbeiter nach Renard doch vor, ihrer Phantasie weiter die Zügel schießen zu lassen. Wir stoßen deshalb auch in den letzten zwei Dezennien wieder auf eine Reihe ganz minderwertiger Projekte und Konstruktionen. Man fuhr fort, in der Lenkung des Ballons eine „Erfindung" zu sehen, die erst zu machen

Digitized by Google

wäre, man hoffte, durch einen glücklichen Einfall das Problem mit einem Schlage „lösen“ zu können. Es tauchen wieder von allen Seiten die Projektanten auf, welche den lenkbaren Ballon „erfinden“ wollen. Die Ballomanie forderte neue Opfer. Personen, die nie im Korbe eines gewöhnlichen Ballons gesessen sind, die „eine Ballonhülle von einer Wursthaut nicht unterscheiden“ konnten (wie Paul Pacher mit sarkastischem Spott einmal bemerkt), mühten sich um die Lösung des Problems der Lenkbarmachung und ließen sich Patente erteilen auf „absolut lenkbare“ Konstruktionen. Es ist begreiflich, daß diese Dilettanten der Sache mehr Schaden als Nutzen brachten. Hier können nur



Fig. 61. Lenkballon von Graf Zeppelin.
Modell Nr. 3. 1907.

jene Konstruktionen erwähnt werden, welche wesentliche Erfolge erzielten oder sich durch besonders originelle und wertvolle Details auszeichnen. Wir verlassen dabei die chronologische Ordnung und teilen alle zu besprechenden Typen nach der Art der Herstellung des Tragkörpers und der Verbindung mit der Gondel ein in das starre, das unstarre und halbstarre System.

Die modernen Lenkballontypen.

I. Das starre System.

Das starre System ist dadurch charakterisiert, daß der Tragkörper ein starres Gerüste besitzt und die Gondel mit dem Ballon starr verbunden ist.

Digitized by Google

Die „Luftlokomotive" von Prosper Meller vom Jahre 1851 stellt das erste Projekt eines Ballons des starren Systems dar. Die Idee wurde wieder aufgenommen von Schwarz, der 1893 in Petersburg und 1895 in Berlin einen Lenkballon baute, dessen Tragkörper aus einem Gerüste aus Aluminiumträgern mit Aluminiumblech als Außenhaut bestand. Der Tragkörper hatte elliptischen Querschnitt, die Achsenlängen waren 12 und 14 Meter. Der Ballon war 47 Meter lang und faßte 3700 Kubikmeter. Die Längsschnittform ist geschoßartig, vorn kegelförmig, hinten stumpf abgerundet. Zur Bekleidung der Gitterkonstruktion diente Aluminiumblech von 0·2 Millimeter Stärke. Unterhalb der Mittelachse des Tragkörpers war auf jeder Seite ein Schraubenpropeller aus Aluminium von 2 Meter Durchmesser angebracht. Zum Antrieb diente ein Daimler-Benzinmotor von 12 Pferdekräften. Der erste Versuch wurde am 3. Nov. 1897 unternommen. Während der Fahrt fielen die Treibriemen von den Scheiben ab. Der Führer schritt hierauf zur Landung, welche glatt erfolgte. Infolge des Winddruckes gegen die starre Hülle und des Vandalismus der Zuschauer wurde das Luftschiff völlig zerstört. Dieser Versuch führte die Schattenseiten des starren Ballons klar vor Augen und ließ erkennen, daß diese die vermeintlichen Vorteile weitaus aufwiegen. Die Schwarzsche Konstruktion stellte wohl ein Meisterwerk der Technik dar, allein sie war eine Papieridee, konzipiert am grünen Tisch von einem mit der praktischen Aeronautik nicht vertrauten Laien.

Zur Type der starren Ballons gehört auch der von Roze im Jahre 1901 in Paris erprobte Doppelballon. Die Idee, zwei nebeneinander liegende Ballons anzuwenden, um das Schlingern und Stampfen zu beseitigen und jedes Drehmoment des Propellers in bezug auf die Längsachse des Tragkörpers zu vermeiden, scheint zuerst von Popper im Jahre 1875 angegeben worden zu sein, sie wurde später wiederholt vorgebracht, so 1884 von Duroy de Bruignac und 1900 von Schiavone. In einer ausgedehnten Monographie, die er auf dem internationalen aeronautischen Kongreß in Paris zum Vortrag brachte, sucht Schiavone die Notwendigkeit zu erweisen, mit dem System des Mono-Aerostaten zu brechen und an dessen Stelle den Bino-Aerostaten zu setzen. Theoretisch ist gegen die Idee des Bino-Aerostaten nichts einzuwenden. Die konstruktiven Schwierigkeiten des Systems des Doppelballons wiegen aber dessen theoretische Vorteile reichlich auf. Der Bino-Aerostat besitzt deshalb keine Entwicklungsfähigkeit, er ist gleichfalls eine Papieridee. Roze hatte mit seinem Doppelballon in der Tat keinerlei Erfolg zu verzeichnen. Die beiden zylindrischen Ballons mit kegelförmigen Zuspitzungen waren 45 Meter lang und hatten $7^1/_2$ Meter größten Durchmesser. Die Tragkörper besaßen ein festes Gerüst aus Aluminiumröhren. Dieses bestand aus zwei Serien von Rohren, eine entsprechend den Längsschnitten des Ballons, die zweite entsprechend den Transversalschnitten, senkrecht zur Längsachse. Über dieses Gerüst ist der Ballonstoff gespannt. Nach der Füllung drückten sich die einzelnen sphärischen Vierecke zwischen je zwei Längs- und Querrohren nach außen durch, wodurch der Stirnwiderstand außerordentlich vergrößert werden mußte. Zum Auftrieb diente ein 20 pferd. Buchet-Benzinmotor. Die ganze Konstruktion wurde zu schwer und

Digitized by Google

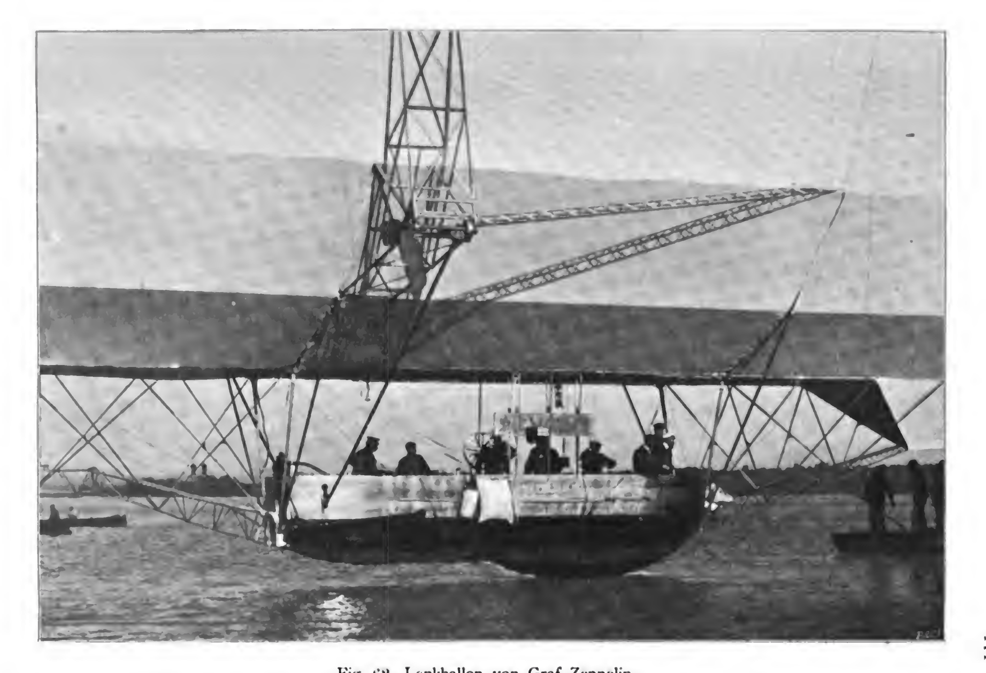


Fig. 62. Lenkballon von Graf Zeppelin.

Modell Nr. 4 von 1908. Eine der zu Booten ausgebildeten Gondeln. Propulsionsschraube mit Antrieb. (Nach einer Originalphotographie.)

Digitized by Google



Fig. 63. Lenkballon von Graf Zeppelin.
Modell Nr. 4 von 1908. Seitenansicht. (Nach einer Originalphotographie.)

konnte sich bloß auf 15 Meter Höhe heben. Die Versuche wurden dann eingestellt.

Die bekannteste und erfolgreichste Type des starren Systems ist der Lenkballon des Grafen Zeppelin. Obwohl in Sachen der Wissenschaft jedes persönliche Moment ausgeschlossen sein sollte und der Autor hier nicht über die Erfinder, sondern in erster Linie über die Erfindung und Entwicklung des Lenkballons berichten will, soll doch gleich voraus bemerkt werden, daß Graf Zeppelin den ernstesten und sympathischesten Mitarbeitern auf dem Gebiete der Motorluftschiffahrt beizuzählen ist. Auch der prinzipielle Gegner des Zeppelinschen Flugschiffsystems wird ja dem greisen Erfinder die aufrichtigste Bewunderung zollen und ihm die größten Sympathien entgegenbringen. Unter den widrigsten Verhältnissen hat Graf Zeppelin mit eiserner Energie an seiner Idee festgehalten und es gelang seiner unermüdlichen Propaganda, immer wieder neue Mittel aufzubringen, um sein Werk fortzuführen. Nach Überwindung unendlicher Schwierigkeiten konnte Graf Zeppelin vor neun Jahren an den Bau seines ersten Flugschiffmodelles schreiten. Zwei Jahre später wurde dieses zum ersten Male in die Lüfte gesteuert. Die Experimente brachten aber keinen durchschlagenden Erfolg; die Gesellschaft, welche die Mittel zum Bau des Flugschiffes aufgebracht hatte, löste sich auf. Damit schien das Schicksal des Zeppelinschen Flugschiffes besiegelt. Der Erfinder verlor aber nicht den Mut. Vier Jahre später gelang es ihm neuerdings, die Mittel zum Bau eines zweiten verbesserten Modelles zu beschaffen. Auch über diesem Flieger waltete aber kein günstiger Stern. Schon beim zweiten Aufstiege wurde der Ballon nach der Landung vom Winde zerstört. Wieder war kein endgültiges Resultat erzielt und es blieb unentschieden, ob und welche praktische Verwendbarkeit das Zeppelinsche Riesenluftschiff besitze. Auch die Katastrophe seines zweiten Flugschiffes konnte dem Grafen den Glauben an die lösende Kraft seines starren Systems nicht

Digitized by Google

rauben. Ein dritter Ballon wurde gebaut. Nach weniger als Jahresfrist stand ein neues Luftschiff zum Aufstieg bereit. Erfreulicherweise verliefen diesmal alle Aufstiege ohne Unfall und Graf Zeppelin blieb vor dem traurigsten Erfinderlose bewahrt, ein Märtyrer seiner Idee zu werden.

Das Zeppelinsche Riesenluftschiff stellt eine wahre Wunderleistung deutscher Ingenieurkunst dar. Es übertrifft an Größe alle bisher erprobten Lenkballons weitaus. Zur Charakterisierung der enormen Dimensionen seien bloß einige Zahlen angeführt. Der Tragkörper des ersten Modelles vom Jahre 1898 hatte eine Länge von 128 Meter und

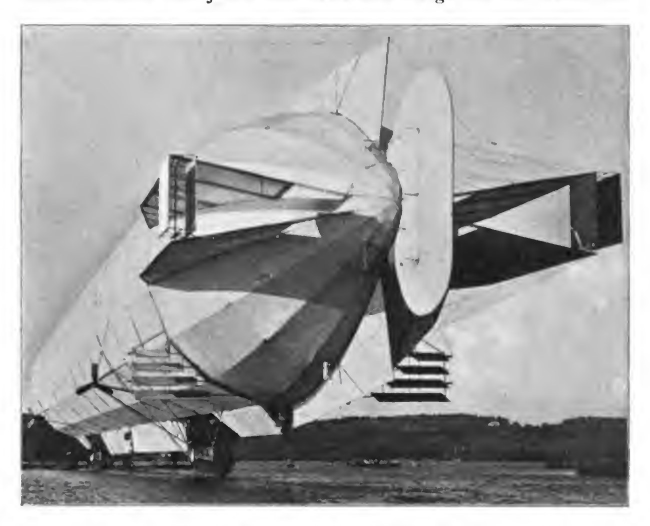


Fig. 64. Lenkballon von Graf Zeppelin.
Modell Nr. 4 von 1908. Ballon von rückwärts. Horizontal- und Vertikalsteuer sowie Stabilisierungsflächen gut sichtbar. (Nach einer Originalphotographie.)

einen größten Durchmesser von 11·6 Meter. Er bestand aus einem starren Gerüste von longitudinalen und transversalen Aluminiumträgern, über die Ballonstoff gespannt war. Der Querschnitt der Röhre bildete ein 24-Eck. Als Gasbehälter dienten 17 Stoffballons, die in die versteiften Hohlräume eingebettet sind. Die Gasbehälter des ersten Modelles faßten 11.300 Kubikmeter, jene des zweiten 10.300 Kubikmeter. Nach den Enden zu lief der zylindrische Tragkörper wie bei Geschossen in ogivale Bogenspitzen aus. Durch Querwände wurden 17 Abteilungen (Schotte) geschaffen. Die Hüllen waren aus einfachem gummiertem

Digitized by Google

Baumwollstoff hergestellt. Jeder Ballon hatte ein Sicherheitsventil, fünf von ihnen außerdem ein Manövrierventil zum Ablassen des Gases. Zwischen der Außenbespannung des Gerüstes und den Hüllen der Gaszellen war ein Zwischenraum, der die Einflüsse der Sonnenstrahlung auf das Füllgas herabmindern sollte. Eine Anzahl von Öffnungen sorgte für die genügende Ventilation des Hohlraumes. Drei Meter unterhalb des Tragkörpers je auf $^1/_4$ der Länge vom Heck, beziehungsweise Bug entfernt, hängen zwei mit diesem starr verbundene Gondeln aus Aluminium. Das erste Modell war mit zwei 15pferdigen Daimler-Motore ausgerüstet von je 450 Kilogramm Gewicht. Jeder Motor trieb mittels Transmissionen aus Stahlrohren mit Universalgelenken zwei Propellerschrauben, die symmetrisch zu beiden Seiten des Tragkörpers in der Höhe des Druckmittelpunktes angebracht waren. Die Schrauben waren vierflügelig und hatten einen Durchmesser von je 1·1 Meter.

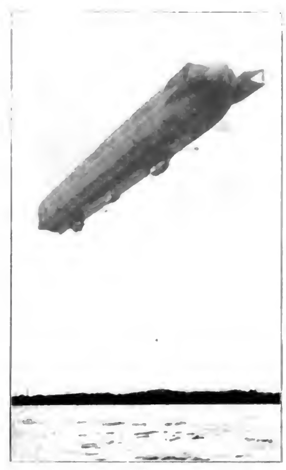


Fig. 65.
Lenkballon von Graf Zeppelin.
Modell Nr. 4 von 1908. Ballon in der Luft schwebend über dem Bodensee.

Am 2. Juli 1900 fand der erste Aufstieg statt, dem am 24. September und am 17. Oktober zwei weitere folgten. Die Ergebnisse der ersten Probeaufstiege befriedigten die aufs höchste gesteigerten Erwartungen nicht. Die Fortführung der Studien war deshalb infolge mangelnder Mittel mehrere Jahre in Frage gestellt. Erst nach vier Jahren konnte an den Neubau des Zeppelin Nr. 2 geschritten werden. Der Tragkörper des Modelles war etwas kürzer; bei einer Länge von 126 Meter war der Querschnitt 11·7 Meter. Der Fassungsraum der 16 Gashüllen betrug 10.400 Kubikmeter, also 900 Kubikmeter weniger als der erste. Nach einer Panne beim ersten Versuch vom 30. Nov. 1905 fand am 17. Januar 1906 der erste Aufstieg statt. Das Luftschiff wurde auf Land getrieben und durch den während der Nacht zu Sturmesstärke auffrischenden Wind sehr stark beschädigt. Das Luftschiff wurde abgebrochen und neu aufgebaut. Das Modell Zeppelin Nr. 3 war wieder 128 Meter lang. Die Gasbehälter faßten 11.430 Kubikmeter. Das Luftschiff vermochte mit einer Besatzung von 9 Personen eine Nutzlast von 2500 Kilogramm zu tragen. Am 9. Oktober fand der erste Aufstieg des neuen Modelles statt, der glatt verlief. Bei einer zweiten Auffahrt am folgenden Tage wurden mit 11 Personen an Bord in 2 Stunden 17 Minuten 110 Kilometer zurückgelegt. Es folgte dann noch eine Serie von Fahrten, von denen die vom 30. Sep-

Digitized by Google

tember bemerkenswert ist, bei der das Luftschiff über acht Stunden ununterbrochen in der Luft blieb.

Auf Grund der gemachten Erfahrungen wurde der Stabilisierungs- und Steuerungsmechanismus bei Modell Nr. 4 erheblich vervollkommnet. Der Tragkörper des Zeppelin Nr. 4 ist 136 Meter lang und faßt 15.000 Kubikmeter. Die motorische Kraft wurde auf 220 Pferdekräfte erhöht (zwei Daimler-Motore von je 110 Pferdekräfte). Nach einigen

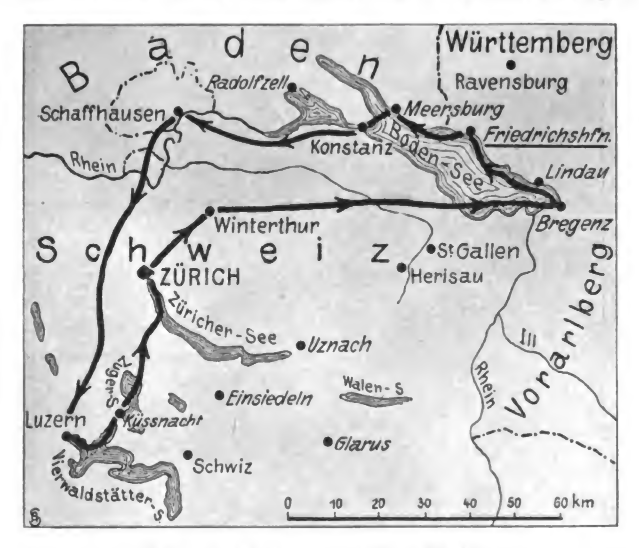


Fig. 66. Lenkballon von Graf Zeppelin Nr. 4.
Fahrtkurve der 12 stündigen Luftreise in die Schweiz. (Aus dem Zeppelinheft der „Woche".)

Probefahrten führte Zeppelin am 1. Juli die überraschende Zwölfstundenfahrt in die Schweiz aus. Über Konstanz, Schaffhausen ging die Luftreise nach Luzern, dann über Zürich und Bregenz zurück zum Aufstiegsorte. Diese treffliche Leistung hat endlich den Bann gebrochen, der bis dahin über dem Zeppelinschen Unternehmen lastete. Nun änderte sich plötzlich die Perspektive dem starren System gegenüber. Am 4. und 5. August führte Graf Zeppelin die berühmte große Fahrt nach Mainz aus. Die Route des Luftschiffes zeigt die Skizze S. 116. Nach einer Zwischenlandung am Rhein setzte Graf Zeppelin um 10 Uhr 25 Minuten nachts die Fahrt nach Mainz fort, umflog die Stadt und steuerte dann zurück über Mannheim nach Stuttgart. Infolge starken

Digitized by Google



Fig. 67. Lenkballon von Graf Zeppelin Nr. 4.
Die berühmte große Fahrt vom 4. und 5. August 1908. (Aus dem Zeppelinheft der „Woche".)

Gasverlustes mußte morgens nach 7 Uhr zu einer zweiten Zwischenlandung bei Echterdingen geschritten werden. Das Luftschiff wurde verankert. Der starke auffrischende Wind riß um 3 Uhr Nachmittag

das Luftschiff los, trieb es etwa ein Kilometer ab. Angeblich infolge elektrischer Entladungen wurden die Gasbehälter in Brand gesteckt und dadurch das Luftschiff vollständig zerstört. Die Annahme, daß eine elektrische Entladung als Ursache der Katastrophe anzunehmen sei, hat auch die größte Wahrscheinlichkeit für sich. Es mag aber vielleicht doch nicht ganz ausgeschlossen sein, daß aus irgendeinem



Fig. 68. Lenkballon von Santos-Dumont.
Modell Nr. 6 von 1901. Santos-Dumont umkreist den Eiffelturm am 19. Oktober 1901 und gewinnt den Deutschpreis von 100.000 Franken.

anderen Grunde das infolge des anfänglichen starken Winddruckes gegen die Breitseite des Tragkörpers aus den Gasbehältern herausgepreßte Gas sich entzündete. Ein Funke genügt ja, um das autogen entzündbare Knallgas zur Explosion zu bringen. Die bedauerliche Katastrophe von Echterdingen hat die Notwendigkeit erwiesen, besondere Vorkehrungen zu treffen, um das Auftreten von elektrischen Zündschlägen tunlichst auszuschließen. Ob dies beim starren System

Digitized by Google

nach Zeppelinscher Bauart mit voller Sicherheit möglich ist, bleibe dahingestellt. Es will mir scheinen, daß eine möglichst gasdichte Hülle aus mehrfachen Stofflagen das einzige Mittel darstellt, um das Auftreten von freiem Knallgas zu verhindern. Die Ventilationsröhre des Zeppelinballons, der Zwischenraum zwischen der Hülle der Gasbehälter und dem Bespannungsstoff des Gerüstes, scheint eine Quelle der größten Gefahr zu sein. Ist die Ventilation nicht genügend groß, so füllt sich der Zwischenraum allmählich mit Knallgas. Der schwächste elektrische Funke kann in diesem Falle das ganze Luftschiff zur Explosion bringen. Dies ist vielleicht der schwerwiegendste Mangel, welcher dem starren Luftschiff Zeppelinscher Bauart anhaften dürfte.

Graf Zeppelin hat sich auf der großen Fahrt 20 Stunden in der Luft erhalten und eine Strecke von rund 800 Kilometer zurückgelegt; es ist dies die weitaus größte Strecke und die längste Fahrtdauer, die bisher ein Lenkballon zustande gebracht hat.

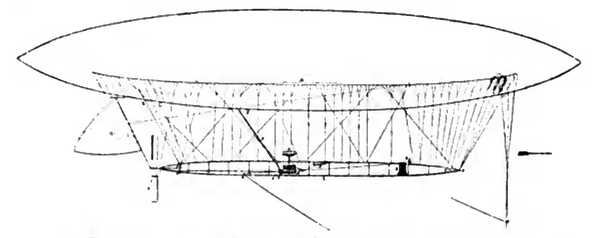


Fig. 69. Schema des Lenkballons von Santos-Dumont.
Modell Nr. 6. *H* Propulsionsschraube. *M* Motor, *N* Korb für den Luftschiffer, *K* Steuerrad.

In einem in der 49. Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Dresden gehaltenen Vortrage legt Graf Zeppelin die Gründe dar, welche ihn zur Konzeption der Idee seines Riesenluftschiffes führten. Der Vortrag ist in der „Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure“ vom 25. Juli 1908 unter dem Titel „Erfahrungen beim Bau von Luftschiffen“ (auch als Separatabdruck erschienen) abgedruckt.

Nach den Versuchen von Lössl mit Flächen bis zu zwei Quadratmeter soll der Luftwiderstand proportional der Flächengröße zunehmen. Lössl stellte seine Studien mit Flächen an, die mit einem aufgebogenen Rande versehen waren. Bei der Anwendung auf natürliche Verhältnisse bedürfen die Ergebnisse deshalb einer Korrektur. Aus Versuchen mit nicht umränderten Flächen fand Lössl, daß der Luftwiderstandskoeffizient abhängig ist von der Form der Fläche, beziehungsweise vom Flächenumfang. Die Fläche von kleinstem Umfang, der Kreis, gibt den kleinsten Koeffizienten 0·83. Mit zunehmendem Umfange nimmt auch der Widerstandskoeffizient zu. Er ist für das Quadrat 0·86, für ein langgestrecktes Rechteck (Seiten-

Digitized by Google

verhältnis 4 : 1) 0·94. Dieser Umstand macht schon wahrscheinlich, daß auch die absolute Flächengröße nicht ohne Einfluß sein dürfte auf den numerischen Wert des Luftwiderstandskoeffizienten. Alle diese Erfahrungen weisen darauf hin, daß mit zunehmender Flächengröße der relative Luftwiderstand, das ist pro Flächeneinheit, abnehme. Die mit großen Flächen an der Firth of Forth-Brücke und von Geheimrat Hergesell mit Ballons in der Halle der Luftschiffertruppe in Berlin angestellten Pendelversuche scheinen diese Annahme zu bestätigen. Unter diesem Gesichtspunkte betrachtet, würde die relative Antriebsarbeit eines Tragkörpers bei geometrisch ähnlicher Vergrößerung abnehmen müssen.



Fig. 70. Lenkballon von Major Parseval. Modell Nr. 1 (1906).
Ballon völlig unversteift, Hülle bloß durch den Gasdruck prall erhalten. Gondel an Drahtseilen suspendiert.

Zeppelins Luftschiffkörper ist zylindrisch. Renard fand durch Fallversuche mit Ebonitmodellen in Wasser, daß fischförmige Körper mit stumpfem Bug und schlankem Achterende den geringsten Translationswiderstand ergeben. Die Erwägung, daß die Geschwindigkeit der Seeschiffe von der Geschwindigkeit des Wogenganges wenig abweicht, während das schnellste Luftschiff über zwanzigmal langsamer ist, als die durch einen Stoß erweckte Luftwelle, brachte Zeppelin im Gegensatze zu Helmholtz zu der Überzeugung, daß sich die Bewegungsgesetze der Wasserschiffe nicht unmittelbar auf Luftschiffe übertragen lassen. Er mißt deshalb auch der Verjüngung des Rumpfes von einem Hauptspant nach hinten bei den Luftschiffen nicht die ähnlich große Bedeutung für die Fahrgeschwindigkeit bei, wie bei den Wasserfahr-

Digitized by Google

zeugen. Dies führte zu der Form des Zylinders von kleinem Querschnitt mit ogivaler Spitze. „Die zylindrische oder vielseitige, zur Aufnahme der Gaszellen bestimmte Röhre, unter deren Mitte eine Gondel für Motor, Bemannung und sonstige Lasten angehängt ist, kann nicht über ein gewisses Maß verlängert werden, weil sonst die Zunahme des Baugewichtes den Gewinn an Auftrieb in dem größer gewordenen Gasraum überwiegt. Es liegt aber nichts im Wege, dieser Form ein ähnliches, aus Tragzylinder mit Motorgondel bestehendes Stück anzuhängen und so die doppelte Triebkraft auf den gleichen Querschnitt zu bringen, wobei zugleich die erforderliche Betriebssicherheit durch zwei voneinander unabhängige Triebwerke erreicht wird. Dieses Verfahren bedingt völlige Starrheit des Fahrzeuges."

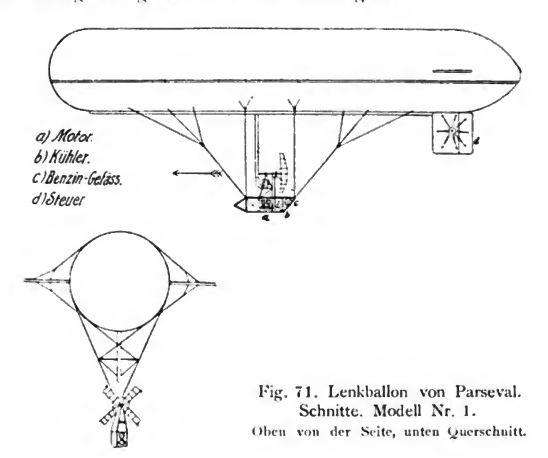


Fig. 71. Lenkballon von Parseval. Schnitte. Modell Nr. 1.
Oben von der Seite, unten Querschnitt.

Die Gashüllen des Zeppelinschen Luftschiffes bestehen aus gleichlaufendem doppelten Baumwollstoff und mehreren Gummischichten. Sie stammen aus der Hannoverschen „Continental"-Gummifabrik, welche auch für die französischen Lenkballons die Hüllen liefert. Das Stoffgewicht beträgt 230 Gramm pro Quadratmeter. Der Gasverlust ist nach Zeppelin drei Gramm pro Quadratmeter in 24 Stunden. Die Daimler-Motore des letzten Modells leisteten je 110 Pferdekräfte und wiegen betriebsfertig, ohne Schrauben und Übersetzungsgetriebe, 500 Kilogramm. Bei 15.090 Kubikmeter Gasinhalt (16.800 Kilogramm Auftrieb) wiegt das Modell Nr. 4 komplett 12.000 Kilogramm. Es bleiben sonach 4800 Kilogramm an freiem Auftrieb für Menschen, Betriebsmaterial und sonstige Ausrüstung.

Beim dritten Modelle konnte die motorische Kraft, dank

Digitized by Google

der mittlerweile eingetretenen Fortschritte der Motorindustrie, von 30 auf 170 Pferdekräfte, d. i. auf mehr als die fünffache Leistung erhöht werden. Abgesehen von dem Einflusse der übrigen Verbesserungen war schon infolge dieser sehr beträchtlichen Vergrößerung der Motorkraft eine Erhöhung der Eigengeschwindigkeit um mehr als die Hälfte beim zweiten Modell zu erwarten. Für das erste 1900 erprobte Modell wurden als maximale Eigengeschwindigkeit 7·6 Meter pro Sekunde angegeben. Man hätte also beim neuen, Ende September und anfangs Oktober 1907 erprobten Modell auf eine Eigengeschwindigkeit von über 11 Meter rechnen können. Es wird angegeben, daß die Eigengeschwindigkeit mehr als 15 Meter betragen habe. Derartige Angaben sind freilich mit Reserve aufzunehmen. Geschwindigkeitsbestimmungen sind bei Motorballons immer eine sehr subtile Sache. Auch wenn die Messungen von sachverständiger Seite und mit größtmöglicher Sorgfalt vorgenommen werden, haftet ihnen



Fig. 72. Lenkballon von Parseval. Modell Nr. 2 von 1908.
Achterteil des Tragballons mehr zugespitzt als bei Modell Nr. 1 und Bugteil paraboloidisch statt halbkugelförmig.

noch immer ein beträchtlicher Grad von Ungenauigkeit an. Die Hauptschwierigkeit bei der Bestimmung der Eigengeschwindigkeit liegt in der Eliminierung der Windgeschwindigkeit. Fliegt der Ballon in der Richtung des Windes, so wird seine Eigengeschwindigkeit scheinbar größer, beim Anflug gegen den Wind aber scheinbar kleiner sein als in windstiller Luft. Man kann nun den Einfluß der Windstärke rechnungsgemäß feststellen. Den Berechnungen haftet aber noch immer ein beträchtlicher Grad von Ungenauigkeit an. Einwandfreie Messungen der Eigengeschwindigkeit eines Motorballons könnten nur erzielt werden, wenn an einem möglichst windstillen Tage eine mehrstündige Fahrt mit und gegen den Wind ausgeführt würde. Alle anderen Bestimmungen müssen, selbst wenn sie mittels Theodolithen auf trigonometrischem Wege gemacht würden, als zweifelhaft angesehen werden.

Bei aller Bewunderung der unermüdlichen Energie des greisen Forschers darf doch nicht verschwiegen werden, daß die bisherigen Fahrten des Zeppelinschen Riesenluftschiffes noch keine Veranlassung

Digitized by Google

boten, unsere keineswegs optimistische Ansicht über die starren Luftschiffe zu ändern. Die Idee des starren Tragkörpers basiert anscheinend auf einer falschen Analogie mit dem Wasserschiffe. Man braucht sich bloß die spezifischen Gewichte der Baumaterialien im Verhältnis zu jenen der Medien vor Augen zu halten, um die Unzulässigkeit einer derartigen Vergleichung zu erkennen. Zwischen Wasser und Eisenschiff ist das Verhältnis der spezifischen Gewichte 1 : 8, zwischen Luft und Aluminiumschiff 1 : 300, zwischen Luft und Wasser 1 : 773. Was folgt daraus? Daß sich ein starres Luftschiff in bezug auf Festigkeit mit dem Wasserschiff nicht vergleichen läßt. Man kann Wasserschiffe von 200 Meter Länge und darüber bauen, aber keine starren Luftschiffe. Das Wasserschiff wird auch, wenn es strandet, noch immer



Fig. 73. Lenkballon von Parseval. Modell Nr. 2 von 1908.
Gondel mit Motor und Propellerschraube (Zentrifugalschraube), Flügel gewinnen erst infolge der Wirkung der Zentrifugalkraft bei rascher Rotation ihre Form, hängen im Ruhezustande schlaff herab. Unterhalb der Schraube Benzinbehälter.

eine gewisse Formfestigkeit besitzen, das starre Luftschiff ist dem festen Boden gegenüber sozusagen ohne jede Formfestigkeit. Wenn die Gasbehälter entleert sind, wird das starre Gerüst durch den Wind unbedingt zerstört. Auch bei vollen Gasbehältern erscheint eine Landung bei Wind auf festem Boden immer riskant. Es liegt dies in den physikalischen Eigenschaften unserer Baustoffe. Wir können die Festigkeitsgesetze nicht umgehen. Darum erscheint es fast aussichtslos, mit ganz starren Tragkörpern je erhebliche praktische Erfolge zu erzielen oder ein kommerziell verwendbares Flugschiff zu schaffen. Abgesehen von der Stirnkappe und einer geringen Längsversteifung, soll der Tragkörper keinerlei Versteifungen haben. Der Ballon mit starrem Tragkörper bleibt ein lebensunfähiges Unding.

Die Größe der aerostatischen Luftschiffe muß notwendig eine obere Grenze haben; diese wird dort liegen, wo es unmöglich wird, die

Digitized by Google

nötige Formfestigkeit des Tragkörpers ohne starre Versteifungen zu erzielen. Das Zeppelinsche Luftschiff hat diese kritische Grenze wohl schon überschritten. Man halte sich nur einmal die Gewichtsverhältnisse der Luftschiffe und die Nutzlast vor Augen, um zu erkennen, daß das starre System unbedingt ein Irrweg sein muß. Wir können eiserne Brücken mit Spannweiten von über 500 Meter bauen und Krane für Lasten bis 80.000 Kilogramme, aber nicht Tragkörper für Flugschiffe von 130 Meter Länge, die bei der Landung am Boden dem Winde standzuhalten vermöchten. Wenigstens nicht bei der Anwendung unserer heute üblichen Trägerkonstruktionen. Es müßte da erst eine ganz neue Baumethode geschaffen werden, welche ermöglicht, auch große starre Tragkörper mit genügender Formfestigkeit auszustatten. Es scheint aber sehr fraglich, ob dies je gelingen wird. Statt



Fig. 74. Lenkballon „La Ville de Paris".

Von Kapférer und Surcouf erbaut für Deutsch de la Meurthe. An der Achterseite des Ballons die merkwürdigen Stabilisierungskörper: Kleine langgestreckte Ballons, kreuzförmig übereinander gestellt. (Nach einer Originalphotographie.)

der bisher üblichen Längs- und Querträger in Analogie zum Brückenbau müßten vielleicht ganz starre Tragkörper in Wellblechform geschaffen werden, die neben longitudinaler und transversaler Steifigkeit auch noch eine gewisse Elastizität besitzen würden. Diese Blechröhre hätte dann noch mit Stoff glatt überspannt zu werden. Wir bezweifeln aber, daß eine derartige Konstruktion in so riesigen Dimensionen möglich wäre. Sicher ist, daß da etwas prinzipiell ganz Neues geschaffen werden müßte, die übliche Schablone reicht zur Lösung des Problems nicht aus. Die Notwendigkeit eines völlig starren Tragkörpers ist auch durchaus nicht einzusehen. Man braucht sich bloß zu erinnern, daß Giffard ungeheuere Tragkörper bis zu 25.000 Kubikmeter Inhalt ganz aus Stoff hergestellt hat. Die Hülle bestand aus fünffacher Stofflage von Musselins und starker Leinwand mit zwei Kautschukzwischenlagen zur Dichtung und wog 1330 Gramm pro Quadratmeter. Die Festigkeit dieser Hülle war so groß, daß sie dem ungeheuren Gasdruck standzuhalten vermochte und die Gasdichtigkeit so erheblich, daß der Ballon

Digitized by Google

über drei Monate in Betrieb bleiben konnte. Aus Stahlblech hergestellt, würde die Dicke einer Platte, die pro Quadratmeter 1330 Gramm wiegt, weniger als 0·2 Millimeter betragen, bei Aluminium würde sie nahe dreimal so groß sein. Es ist unmittelbar ersichtlich, daß es ganz ausgeschlossen ist, die Stoffhülle durch Metall ersetzen zu wollen. Die Zeppelinsche Konstruktion weist gegenüber jener von Schwarz wohl den erheblichen Vorteil auf, daß sie die starre Außenhaut vermeidet. Würde Graf Zeppelin jetzt auch noch das starre Gerippe weglassen bis auf die Stirnkappe und eine untere Kielversteifung, die Schrauben am Kiel anbringen, dafür die 17 Stoffballons durch einen einzigen in Schoten geteilten Träger von genügender Festigkeit ersetzen, dann



Fig. 75. Lenkballon „La Ville de Paris".
Gondelträger mit doppelflächigem Vertikalsteuer und Horizontalsteuer gut sichtbar. Am Bugende der Gondel ein Flügel der horizontal stehenden Schraube erkennbar.

könnte das Zeppelinsche Luftschiff vielleicht noch eine lebensfähige Konstruktion werden. Mit dem völlig starren Träger ist dies als ausgeschlossen zu erachten. Die vorstehenden Bemerkungen sollen keine Polemik gegen den Grafen Zeppelin und sein Werk darstellen, sondern bloß unsere persönliche Meinung ausdrücken über den Wert des starren Systems, um dem Leser dessen Licht- und Schattenseiten klarzulegen und eventuelle Projektanten zu warnen, damit sie nicht für eine lebensunfähige Idee weiter nutzlos Zeit und Mühe opfern.

Der Entwicklung des Zeppelinschen Flugschiffsystems können diese kritischen Bemerkungen ja keinen Abbruch tun, da dessen weitere Ausgestaltung nunmehr völlig gesichert ist.

Die Grundidee des starren Systems ist aus den vorgebrachten Argumenten zu verwerfen. Giffard, der geniale Ballonkonstrukteur, hat unseres Wissens selbst bei seinem gigantischen Projekt an eine

Digitized by Google

völlig starre Tragröhre nicht gedacht und Giffard ist in allen, den Ballon betreffenden Konstruktionsfragen als Techniker von unbestrittener Autorität anzuerkennen. Außer der Stirnkappe und einer genügenden Längsversteifung ist ja ein starrer Tragkörper ganz überflüssig. Jede gewünschte Formfestigkeit kann durch den Gasdruck erzielt werden. Heute, wo die Technik der Dichtung der Ballonhüllen bereits eine sehr hohe Entwicklung erreicht hat, erscheint ein völlig starrer Tragkörper geradezu als ein Anachronismus.

Das starre System ist dem Laien namentlich aus dem Grunde so plausibel, weil es gleichsam ein vom Wasser in die Luft versetztes Schiff darstellt und ihm darum der Aufbau und die Konstruktion am leichtesten verständlich wird. Sieht man von dem starren Tragkörper ab, so läßt sich das Zeppelinsche System sozusagen „mathematisch

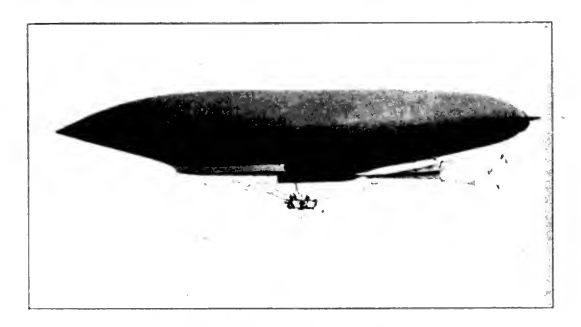


Fig. 76. Lenkballon von Julliot.
Erbaut auf Kosten der Brüder Lebaudy. Modell „La Patrie“ (1905).

beweisen“. Diese wesentlich pessimistische Anschauung über die unstarren Ballons basiert auf den im vorstehenden dargelegten Argumenten, sie stellt aber keinen ex cathedra aufgestellten unfehlbaren Lehrsatz dar, sondern ist eben der Ausdruck der persönlichen Überzeugung des Autors. Die Diskussion über die Zweckmäßigkeit des starren Tragkörpers kann demnach nicht dadurch entschieden werden, daß man einer Meinung die gegenteilige als Argument entgegensetzt.

Das letzte entscheidende Wort wird einmal die Erfahrung sprechen. Wann dieses „einmal“ eintreten wird, darüber läßt sich heute natürlich noch nichts aussagen. Die schönen Erfolge des Grafen Zeppelin mit seinem neuen Modell haben den Pessimismus gegenüber dem starren System wohl ein wenig gemildert, sie waren aber noch nicht geeignet, ihn ganz zu beseitigen. Wenn auch die beabsichtigte große vierundzwanzigstündige Dauerfahrt nach Mainz und zurück

Digitized by Google

infolge der Katastrophe bei Echterdingen bisher noch nicht zustande gebracht werden konnte, lassen die letzten Versuche doch schon mit Sicherheit erkennen, daß das Zeppelinsche Luftfahrzeug in der Tat fähig sein wird, Reisen von langer Dauer auszuführen und bei günstigen Windverhältnissen Strecken bis tausend Kilometer und mehr zurückzulegen. Es muß gegenwärtig noch dahingestellt bleiben, inwieweit der Einwand der Gegner des starren Systems, das Zeppelinsche Starrschiff könne bei frischem Winde auf festem Boden ohne eigene Luftschiffhäfen oder Ballonhallen nicht in Sicherheit landen, den Tatsachen entspricht. Gewiß ist, daß die Möglichkeit der gefahrlosen

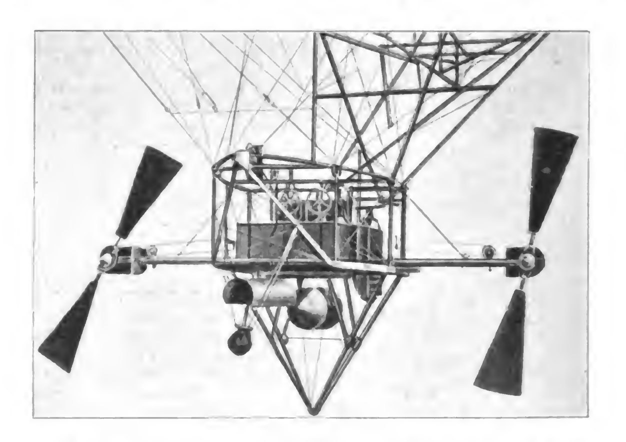


Fig. 77. Lenkballon von Julliot-Lebaudy. Modell „La Patrie".
Gondel mit Propulsionsschrauben. Unterhalb der Gondel Benzinbehälter und Scheinwerfer. Gondel ruht auf pyramidenförmigem Puffergerüste.

Landung auf jedem beliebigen geeigneten Terrain stets das Experimentum crucis von Luftschiffen des starren Systems bleiben wird. Ein Flugschiff, das nur in eigens für diesen Zweck hergestellten Häfen landen kann, ohne sich der Gefahr der Strandung auszusetzen, kann gewiß nur eine engbegrenzte praktische Verwendbarkeit erlangen.

Die außerordentlichen Verdienste, welche sich Graf Zeppelin um die Förderung der Motorluftschiffahrt erworben hat, würden freilich auch nicht beeinträchtigt, wenn die Erfahrung einmal zeigen sollte, daß das starre System keine lebensfähige Flugschifftype zu geben vermag. Will man die Leistung Zeppelins gerecht bewerten, so darf man diese nicht vom niedrigen Krämerstandpunkte aus beurteilen und muß den Zweckbegriff und die Nützlichkeitsfrage vorerst ganz aus-

Digitized by Google

schalten. Was nützt es uns eigentlich, zu wissen, wie hoch die Mondberge sind, oder die Erkenntnis, daß das Problem der Quadratur des Zirkels nicht lösbar ist? Welche praktische Bedeutung hätte denn die Entdeckung des Nordpols? Gewiß keine. Und mit welchem Jubel wurde Nansen in der ganzen gebildeten Welt empfangen!

Das Zeppelinsche Flugschiff stellt ein neues Werkzeug dar zur Beherrschung des Luftozeans. Ganz unabhängig von der Frage nach der praktischen Verwendungsmöglichkeit möchte ich den intellektuellen Genuß nicht gering einschätzen, den der Gedanke gewähren muß, daß es nach mehr als zweihundertjährigen Bemühungen dem Genius des Menschen nun doch gelungen ist, einen mächtigen Schritt auf dem Wege der Eroberung der Luft zu tun. Die Versuche des Grafen Zeppelin haben gezeigt, daß es bereits mit den heutigen Hilfsmitteln der Technik möglich ist, Lasten bis zu fünfzehntausend Kilogramm Gewicht mit einem Dutzend und mehr Personen zielsicher viele hundert Kilometer weit durch die Luft zu befördern.

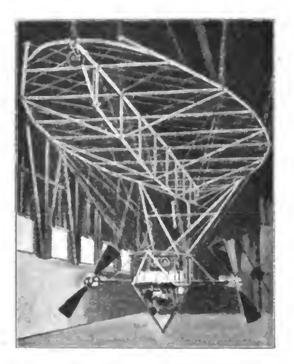


Fig. 78. Lenkballon von Julliot-Lebaudy. Modell „La Patrie“.
Gerippe der Starrfläche mit Kiel und Gondel.

Das Schwergewicht möchte ich auf diese intellektuelle Leistung legen. Rührend und bewunderungswert ist die Opferfreudigkeit des Deutschen Volkes! In wenigen Wochen waren über drei Millionen Mark gesammelt für den Fond zur Fortführung der Versuche mit dem Zeppelinschen Luftschiffe. An Mitteln fehlt es nun dem vielgeprüften Forscher nicht. Die weiteren Studien werden zeigen müssen, ob das starre System in der Type des Zeppelinschen Riesenluftschiffes soweit vervollkommnet werden kann, daß auch an eine praktische Verwertung für militärische oder praktische Zwecke gedacht werden kann, oder ob das starre aerostatische Luftschiff stets nichts weiter bleiben wird als ein interessantes wissenschaftliches Experiment.

Das zweite Extrem bildet das unstarre System, dem die große Mehrzahl aller bisher erprobten Lenkballontypen angehört.

II. Das unstarre System.

Das unstarre System ist dadurch gekennzeichnet, daß der Tragkörper ohne alle formstarre Versteifungen ist und die Verbindung zwischen Gondel und Tragkörper bloß durch Seile oder Drähte erfolgt.

Der hervorragendste Vertreter des unstarren Systems in neuester Zeit ist Santos-Dumont. Vom Jahre 1898 ab hat Santos über ein

Digitized by Google



Fig. 79. Lenkballon „La République“.
Von Julliot erbaut für die Brüder Lebaudy. Modell 1908. Von der französischen Heeresverwaltung übernommen. Kiel, Starrfläche und Gondelsuspension gut ersichtlich. (Nach einer Originalphotographie.)

Dutzend von Lenkballons konstruiert und erprobt. Die ersten drei Konstruktionen waren noch so primitiv, daß sie nur das Lächeln der Fachkreise erregten und der Erfinder vorerst gar nicht ernst genommen wurde. Santos machte sich bei seinen folgenden Konstruktionen die Erfahrungen von Giffard und Renard zunutze und es gelang ihm, mit seiner Type Nr. 6 auch einen erheblichen Erfolg zu erzielen durch seine berühmte Preisfahrt um den Eiffelturm vom 19. Oktober 1902. Er erreichte eine Eigengeschwindigkeit von etwa sieben Meter in der Sekunde, also wenig mehr, als Renard schon 22 Jahre zuvor erzielt hatte. Der Tragkörper des Ballons faßte bloß 630 Kubikmeter, er hatte ellipsoidische Form und war 33 Meter lang. Der größte Durchmesser betrug 6 Meter. Der Antrieb erfolgte durch eine zweiflügelige Treibschraube von 4 Meter Durchmesser, die an einem Ende des langen Gondelträgers angebracht war. Die Mitte der Gondel nahm der vierzylindrige Buchet-Benzinmotor ein, der 12 Pferdekräfte leistete. Nahe dem zweiten Gondelende war der Korb für den Führer angebracht. Die Suspension des Gondelträgers an

Digitized by Google

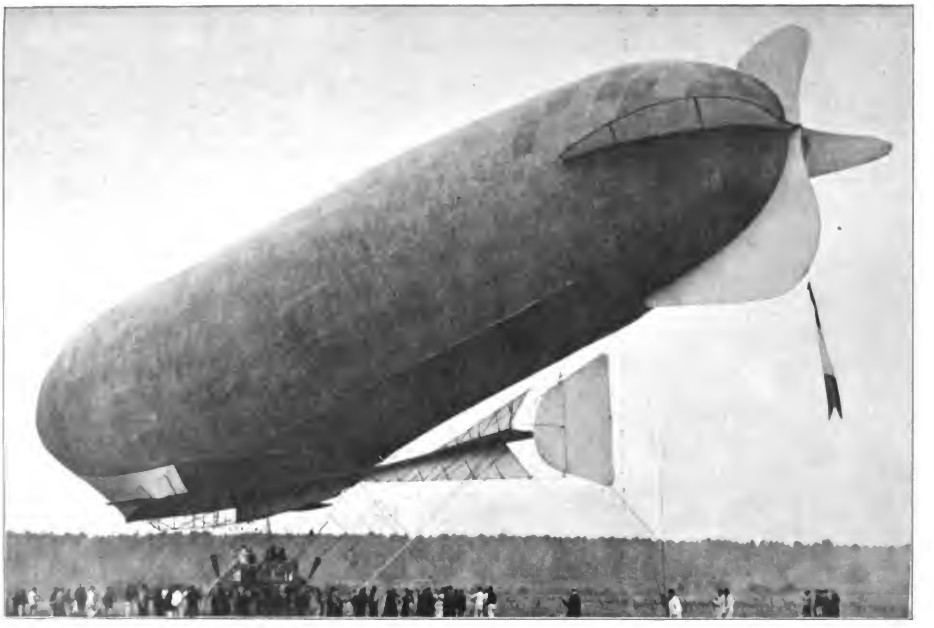


Fig. 80. Lenkballon „La République“.
Von der französischen Heeresverwaltung übernommen. Schwalbenschwanzflächen an dem Achterende des Tragballons deutlich ersichtlich; darunter an besonderem Gerüste das vertikale Steuer für Kursänderungen. (Nach einer Originalphotographie.)

Digitized by Google

den Ballon erfolgte durch Klaviersaitendrähte mit Diagonalverspannungen. Der Tragkörper war mit einem Ballonet versehen.

Vom technisch-konstruktiven Standpunkte aus bezeichnet auch die erfolgreichste Type Nr. 6 ersichtlich keinen Fortschritt. Das Schwergewicht bei der Einschätzung der Leistungen von Santos-Dumont muß vielmehr auf die sportliche Seite gelegt werden. Santos war es bei seinen Arbeiten in erster Linie um eine neue, anregende sportliche Betätigung zu tun. Er hat bei seinen Fahrten eine geradezu bewunderungswürdige Kühnheit entwickelt. Die Zahl seiner lebensgefährlichen Abstürze wird wohl ein Dutzend erreichen. Santos kam aber immer ohne erheblichen Schaden davon. Durch diese tollkühnen Fahrten verschaffte er dem Lenkballon die größte Popularität. Daß er selbst von den technischen Fortschritte seiner Konstruktionen wenig hielt, geht schon daraus hervor, daß er später sich ganz der dynamischen Luftschiffahrt zuwandte und zuerst mit einem Schraubenflieger, dann mit einem Drachenflieger experimentierte.

Im Jahre 1902 baute Bradsky-Laboun einen Lenkballon mit zylindrischem Tragkörper, der vorne spinal, hinten flach abgerundet war. Der Ballon hatte einen Inhalt von 853 Kubikmeter, und war 34 Meter lang. Der lange Gondelträger war an Klaviersaitendrähten suspendiert. Zu beiden Seiten der Suspension am Ballon waren, parallel zu dessen Längsachse, Drachenflächen von zusammen 34 Quadratmeter Inhalt angebracht. Zum Antrieb diente eine am rückwärtigen Gondelende fixierte Schraube von 4 Meter Durchmesser. Unter der Gondel war eine Hubschraube von $2^1/_2$ Meter Durchmesser anmontiert. Die motorische Kraft lieferte ein 16pferdiger Buchet-Motor. Der erste Versuch endete mit einer Katastrophe. Der Gondelträger riß ab und Bradsky samt seinem Begleiter Morin wurden durch den Sturz getötet.

Von den zahlreichen, dem unstarren System angehörenden Konstruktionen soll nur noch der Lenkballon von Parseval eingehender besprochen werden, da dieser am besten erprobt und auch die relativ vollkommenste technische Durcharbeitung zeigt, während die meisten der übrigen bekannt gewordenen Typen von aeronautischen und technischen Laien stammen und deshalb vielfach gar nicht ernst genommen werden können.

Der Parsevalsche Ballon (Modell Nr. 1) besitzt einen zylindrischen Tragkörper, vorne mit halbkugelförmiger, hinten mit eiförmiger Abrundung. Der Ballon ist 48 Meter lang, hat einen Durchmesser von rund $8^1/_2$ Meter und faßt 2500 Kubikmeter; er ist mit zwei Ballonets ausgerüstet, eines befindet sich im vorderen und eines im hinteren Ende des Tragkörpers. Die Ballonets werden durch einen besonderen Motor kontinuierlich mit Luft aufgeblasen. Die überschüssige Luft entweicht durch automatische Ventile. Das Zuströmen der Luft kann durch eine Klappeneinrichtung vom Führerstande aus geregelt werden. Läßt man in das vordere Ballonet mehr Luft ein, so senkt sich die Spitze des Ballons und umgekehrt. Am rückwärtigen Ende des Ballons sind zwei horizontale und eine lotrechte Steuerfläche angebracht. Diese bestehen aus matratzenförmigen Stoffsäcken, welche erst durch Einblasen von Luft ihre Steifigkeit und Form erhalten. Die

Digitized by Google

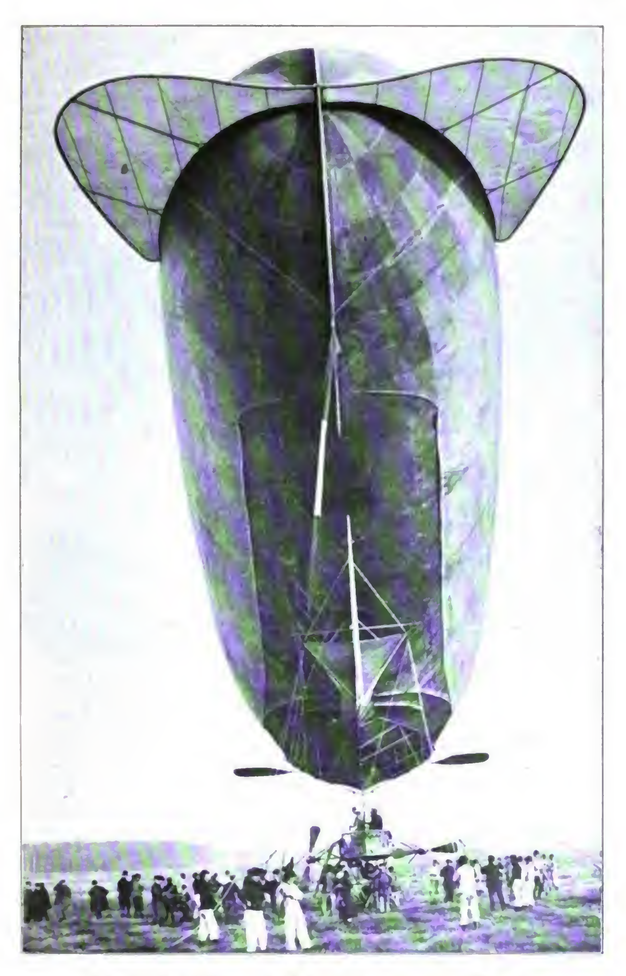


Fig. 81. Lenkballon „La République“ von Julliot-Lebaudy.
Ballon von rückwärts. Unterhalb der Starrfläche zwei seitliche flossenartige Flächen zur horizontalen und vertikalen Steuerung. (Nach einer Originalphotographie.)

Digitized by Google

5 Meter lange Gondel hängt an Drahtseilen, 8 Meter unterhalb des Ballons. Sie trägt den Motor und den eigenartigen Propeller. Dieser besteht aus einer vierflügeligen Stoffschraube, deren Flügel im Ruhezustande schlaff niederhängen und erst bei der raschen Rotation infolge der Zentrifugalkraft ihre Form und Steifigkeit erhalten. Die Antriebskraft wird von einem Daimler-Benzinmotor geliefert, der bei 1000 Touren in der Minute 90 Pferdekräfte leistet. Die Schraube ist nicht an der Gondel selbst, sondern an einem senkrechten, etwa $2^1/_2$ Meter hohen Träger aufmontiert. Durch Schrägstellung der Ballonachse soll die Auf- und Abwärtsbewegung des Fahrzeuges bewirkt werden, ohne Ausgabe von Ballast oder Gasverlust. Bei größerer Fahrgeschwindigkeit ist die Drachenwirkung sehr erheblich. Der Ballon hält gut Form und die Fahrt geht vollkommen schwankungsfrei vor sich. Die Lenkung in horizontaler und vertikaler Richtung kann leicht und rasch ausgeführt werden. Dem gegenüber muß darauf hingewiesen werden, daß die ersten Abbildungen des Luftschiffes eine sehr erhebliche Einbiegung des Tragkörpers unzweifelhaft erkennen ließen. Durch günstigere Lastverteilung mag diese wohl indes beseitigt worden sein.

Man muß beachten, daß der Konstrukteur bei der Konzeption seiner Type die Aufgabe lösen wollte, einen Lenkballon zu bauen, der möglichst wenig feste Bestandteile besitzt, so daß die Demontierung und Zusammensetzung in der kürzesten Zeit erfolgen kann und das Luftschiff im zerlegten Zustande möglichst wenig Raum einnimmt. Es spielen also in erster Linie militärische Interessen mit. Es mag vielleicht aber fraglich erscheinen, ob es zweckmäßig ist, gerade auf diesen einen Punkt das Hauptgewicht zu legen, sondern man wird wohl in erster Linie darauf hinarbeiten müssen, eine vom aeronautisch-technischen Standpunkte aus möglichst vollkommene Luftschifftype zu schaffen. Diese wird dann gewiß auch vom rein militärischen Standpunkte aus die bestverwendbare sein.

Bei dem neuen, im Sommer d. J. erprobten Modell Parseval Nr. 2 sind erhebliche Verbesserungen zu verzeichnen. Die Ballonform ist viel rationeller und auch sonst ist die Konstruktion wesentlich durchgearbeitet worden. Die Hülle besteht aus zwei übereinanderliegenden Lagen. Die Fasern der einen Lage laufen schräg zu denen der anderen. Die Querbahnen sind aus großen Stücken eines solchen Doppelstoffes geschnitten und an den Stößen mit besonderen Streifen laschenartig verklebt. Der mittlere Überdruck in den Luftsäcken (Ballonets) zum Straffspannen des Ballons beträgt 20 Millimeter Wassersäule. Das Laufgewicht, das als Aushilfe für die Höhensteuerung dient, ist 40 Kilogramm schwer und kann um eine Strecke von insgesamt 40 Millimeter verschoben werden. Die beiden wagerechten Beruhigungs-(Stabilisierungs-)flächen und die unmittelbar vor dem Seitensteuer sitzende haben je zwei über den Holzrahmen gespannte Stofflagen. Bei der Fahrt werden die Stofflagen von der durch die Luftmäuler (Öffnungen an der Stirnseite) eindringenden Luft auseinandergebläht und straff gespannt. Die gleiche Anordnung ist für die Seitensteuer getroffen. Dessen Lage am Ende einer senkrechten Flosse ist gewählt, um die Luft möglichst in Richtung der Achse dem Steuer zuströmen zu lassen, und außerdem dadurch bedingt, daß das Steuer genügenden Halt am

Digitized by Google

Ballon haben muß. Die Aufhängung der Gondel an Drahtseilen, die sich über Rollen verschieben können, hat nicht nur den Zweck, daß die Gondel stets in der Achsrichtung wagerecht hängt. Die Anordnung dient auch dazu, um zu verhindern, daß sich bei Geschwindigkeitsänderungen durch das von der Gondel ausgeübte Drehmoment der Ballon nicht schräg aufwärts stelle. Dies würde bei fest aufgehängter Gondel eintreten, weil der leichte Tragkörper mit seiner großen Spitzenfläche aufgehalten wird, während die verhältnismäßig schwere Gondel mit ihrer kleineren Fläche vorwärts schwingt und bei fester Verbindung mit den hinteren Aufhängestellen den Ballon somit in der Längsachse



Fig. 82. Lenkballon „La République“ von Julliot-Lebaudy.
Details der Gondel. Flossenartige Höhensteuer und Propulsionsschrauben gut ersichtlich.

nach oben dreht. Da in diesem Falle auch die Unterfläche des Ballons dem Gegenwind ausgesetzt wird, verstärkt sich die Schrägstellung noch mehr, so daß der Gasdruck im Ballon das vordere Ende der Hülle übermäßig beansprucht und die Vorwärtsbewegung des ganzen Luftschiffes stärker als bei wagerechter Lage gehemmt wird. Durch die Rollenführung der Seile wird dagegen der Angriffspunkt des Gondelgewichtes am Ballon nach vorn verschoben, wodurch dem Aufwärtsdrehen der Ballonspitze erfolgreich begegnet wird. Die Gondel kann sich durch die Rollenführung etwa um ein Meter verschieben. Bei gleichmäßigem Winde wird der Ballon durch den Vortrieb der Luftschraube nicht nach oben gedreht; denn die Luftschraube ist so hoch über der Gondel angebracht, daß hiedurch ein nach unten wirkendes

Digitized by Google

Kippmoment auf die Gondel und somit in den vorderen Aufhängeseilen ein stärkerer Zug hervorgerufen wird, als wenn die Luftschraube in der Gondelebene liegt. Das aufwärtswirkende Drehmoment, dessen Hebelarm gleich dem senkrechten Abstande der hinteren Aufhängestellen von der Auftriebebene des Ballons ist, wird durch den nach unten wirkenden vermehrten Zug in den vorderen Aufhängeseilen ausgeglichen, wenn die Luftschraube in richtiger Höhe über der Gondel angeordnet ist. Die Gondel ist aus Winkeleisen aufgebaut, welche eine bessere und leichtere Verbindung gewährleisten als Rohre.

Der Tragkörper liegt überraschend stabil in der Luft, erreicht eine maximale Eigengeschwindigkeit von 12 Meter pro Sekunde und ist sehr leicht steuerbar. Als Sportgerät scheint der Ballon recht verwendbar. Ob man ihm erhebliche militärische Verwendbarkeit zusprechen darf, bleibe vorläufig dahingestellt.

Eine technisch gut durchkonstruierte Lenkballontype ist auch der von Surcouf und Kapferer auf Kosten von Deutsch de la Meurthe nach dem unstarren System gebaute Ballon „La Ville de Paris", welcher von der französischen Heeresverwaltung übernommen wurde.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß das unstarre System ebenso wie das ganz starre an prinzipiellen Mängeln leidet, die dem System als solchem anhaften und sich deshalb auch durch keinerlei Verbesserungen beheben lassen. Wir werden so mit logischer Konsequenz zu dem dritten, dem halbstarren, System geführt, das alle angeführten Nachteile der beiden anderen Systeme vermeidet und deshalb derzeit als die Standardtype des Lenkballons gelten kann.

III. Das halbstarre System.

Das halbstarre System ist dadurch gekennzeichnet, daß der Tragkörper nicht jeder formstarren Versteifung entbehrt, ohne jedoch ein vollkommen starres Gerippe zu besitzen. Eine weitere wichtige Eigenschaft des halbstarren Systems ist die starre Verbindung zwischen Gondel und Ballon.

Die einzige derzeit erprobte Type des halbstarren Systems bildet der von Julliot in Paris konstruierte und auf Kosten der Brüder Lebaudy erbaute Lenkballon, der schon in mehreren Modellen erprobt wurde. Julliot hat mit genialem Blick die prinzipiellen Mängel aller bisherigen Ballonkonstruktionen erkannt und es gelang seinem konstruktiven Geschick, diese auch zu beseitigen. Der Ballon Julliot ist bisher in mehr als hundert Fahrten erprobt und hat sich so glänzend bewährt, daß er als Militärballon in die französische Armee eingestellt wurde. Auch die französischen Grenzfestungen im Norden und Osten sind bereits mit Lenkballons nach dem Modelle Julliot-Lebaudy ausgerüstet.

Der Julliot-Ballon besitzt einen zylindrischen Tragkörper mit scharfen kegelförmigen Zuspitzungen. Der zylindrische Mittelteil ist auf der Unterseite seiner ganzen Länge nach durch eine wagerechte Ebene abgeschlossen. Der Querschnitt des Ballons senkrecht zur Flugrichtung, ist also keine vollkommene Kreisfläche, sondern ein kleiner

Digitized by Google

Teil der Kreisfläche ist weggeschnitten und durch eine horizontale Gerade ersetzt. Diese ebene Abschlußfläche des Ballons ist nach der Längs- und Querrichtung versteift. Sie besteht aus einem aus Stahlrohren hergestellten Rahmen, der mit Stoff überspannt ist. Rings um den Rand dieser Fläche, die wir als die Starrfläche bezeichnen wollen, ist die Ballonhülle fixiert. In der Mitte trägt die Starrfläche ein lotrechtes Rahmengerüste, über das Stoff gespannt ist. Dieser Rahmen hat dieselbe Funktion zu erfüllen, wie der Kiel eines Schiffes, wir nennen ihn deshalb auch den Kiel.

An die Starrfläche ist vermittels Drahtseilen die schiffchenförmige Gondel suspendiert, welche die Vortriebsschrauben und den Motor trägt. Außer der diagonalen Verspannung durch Drahtseile ist die Gondel gegen die Starrfläche in der Flugrichtung starr versteift, vermittels eines aus Rohren hergestellten sogenannten Treibgestelles, das die Vortriebskraft der Schrauben auf die Starrfläche und somit auf den Tragkörper überträgt, ohne daß eine relative Verschiebung zwischen Starrfläche und Gondel eintreten kann. Die Versteifung zwischen Gondel und Starrfläche ist deshalb noch wesentlich vollkommener als bei der Konstruktion von Hänlein, bei dessen Lenkballontype wir die ersten und einzigen Anklänge an das System Julliots finden, wenn auch die Starrfläche und der Kiel noch ganz fehlen. Die Anbringung der Starrfläche mit Kiel und die vollkommene Versteifung zwischen Gondel und Tragkörper bilden die wesentlichen neuen konstruktiven Details der Ballontype Julliots. Die Starrfläche erfüllt außer der Versteifung noch eine Reihe von Funktionen. Sie erhöht die Sicherheit gegen Gasentzündungen. Die Gondel kann infolgedessen dem Ballon ohne Gefahr weiter genähert werden, als dies bei anderen Konstruktionen möglich ist. Infolge der geringeren Tiefe der Gondel unter dem Tragkörper wird auch das Drehmoment der Vortriebsschrauben geringer, was wieder günstig auf die Ausnützung der Motorkraft wirkt. Der Julliot-Ballon ist die erste Type, bei der auf die Führung und Stabilisierung des Tragkörpers in der Luft ganz besondere Sorgfalt genommen wurde. Durch horizontale und lotrechte Stabilisierungsflächen werden die Roll- und Schlingerbewegungen möglichst gedämpft. Die Starrfläche dient weiters auch als Fallschirmfläche bei einem Akzident des Tragkörpers in der Luft. Die Starrfläche hat auch die Funktion einer Tragfläche zur Erzeugung eines aerodynamischen Auftriebes. Es kann mit ihrer Hilfe der Ballon auf dynamischem Wege ohne Ballastausgabe über seine aerostatische Gleichgewichtslage hinausgehoben werden. Der Vortrieb des Ballons wird durch zwei zweiflügelige Luftschrauben erzeugt, die zu beiden Seiten der Gondel angeordnet sind. Die Schrauben haben einen Durchmesser von 2·8 Meter und rotieren mit einer Tourenzahl bis zu 1300 in der Minute. Die motorische Kraft liefert ein 40, bzw. 50pferdiger Daimler-Benzinmotor. Die kahnförmige Gondel ist nahe 5 Meter lang, etwas über $1^1/_2$ Meter breit und 1 Meter hoch. Das Gerippe besteht aus Stahlrohren, bekleidet mit Aluminiumblech. Die Gondel ist 3 Meter unter der Starrfläche suspendiert, so daß das ganze System die vergleichsweise geringe Höhe von 13·5 Meter erreicht.

Beim ersten Modell des Julliot-Lebaudy-Ballons aus dem Jahre

Digitized by Google

1902 hatte der Tragkörper eine Länge von 58 Meter und einen größten Durchmesser von 9·8 Meter. Der Rauminhalt betrug 2300 Kubikmeter. Der vordere Konus war 25, der hintere 33 Meter lang. Beim zweiten Modell von 1904 war das Volumen des Tragballons auf 2600 Kubikmeter erhöht worden, der Durchmesser blieb ungeändert. Der Inhalt des Ballonets wurde von 300 auf 500 Kubikmeter erhöht. Der Ventilator zum Aufblasen des Ballonets ist ganz nahe an die Starrfläche gerückt worden, um den langen Füllschlauch zu vermeiden. Der Antrieb erfolgte durch einen Elektromotor, der durch einen Akkumulator gespeist wird. Außer dem Manövrierventil sind noch zwei Sicherheitsventile vorhanden, die bei einem Überdruck von 30 Millimeter Wassersäule abblasen. Der Auspuff des Motors ist mit einem Asbestmantel umgeben, um jede Entzündungsgefahr auszuschließen. Beim Modell 1905 wurde der Inhalt des Trag-Ballons auf 2930 Kubikmeter vergrößert.

Die ersten Freifahrten mit dem Julliot-Ballon wurden im November 1902 unternommen. Das Fahrzeug wurde in systematischer Weise ausprobiert. Bis Juli 1903 wurden 29 Fahrten ausgeführt, bei denen der Ballon 28 mal zu seinem Aufstiegsorte zurückkehrte. Die Hülle stand 70 Tage hintereinander im Dienst. Die Versuchsfahrten wurden auch in den folgenden Jahren fortgesetzt. Bei den zahlreichen Fahrten ergab sich allmählich eine große Zahl von Verbesserungen in der Detailkonstruktion. Infolge der zunehmenden aeronautischen Erfahrung der Führer und der stetigen Vervollkommnung der Konstruktion gelang es auch immer bessere Leistungen zu erzielen. Nachdem die 1905 durchgeführten feldmäßigen Erprobungen ein günstiges Resultat ergaben, wurde der Lebaudy-Ballon in die französische Armee eingestellt und auch eine Reihe von Festungen mit ihm ausgerüstet.

An Stelle der durch einen Sturm entführten „La Patrie“ hat Julliot den in mehreren Details verbesserten Ersatzballon „La République“ erbaut, der nach erfolgter Prüfung von der Heeresverwaltung übernommen wurde.

Nach dem halbstarren System ist auch der Deutsche Militärballon gebaut. Er ist nach den Plänen des Kommandeurs der Berliner Luftschiffertruppe, Major Groß, vom Oberingenieur Basenach konstruiert und weist mehrere prinzipielle Abweichungen bezüglich der Propelleranbringung, der Konstruktion der Starrfläche usw. gegenüber der Lebaudy-Type auf. Der Militärballon Groß Nr. 2 wurde bereits in einer Reihe von Aufstiegen, darunter auch bei Nachtfahrten erprobt. Am 11. September hielt sich der Ballon 13 Stunden in der Luft und legte etwa 300 Kilometer bei Windstärken von 7 bis 12 Meter zurück. Die maximale Flughöhe erreichte 1000 Meter. Diese Fahrt beweist, daß auch mit relativ kleinen Lenkballons 2000 bis 3000 Kubikmeter Inhalt eine sehr erhebliche Flugdauer erzielt werden kann. Die Anschauung, daß nur mit Riesenballons in den Dimensionen des Zeppelinschen eine große Flugdauer erzielt werden könne, wird schon durch die oben erwähnte Fahrt des Ballons Groß Nr. 2, der bloß den fünften Teil des Gasraumes von Zeppelin Nr. 4 faßt, hinfällig.

Digitized by Google

Technik des Lenkballons.

Allgemeine Architektonik.

Gasbehälter und Gondel. Sämtliche bisher ausgeführten Typen von Lenkballons bestehen aus zwei gegeneinander abgegrenzten Teilen: dem Gasbehälter und der unter ihm suspendierten Gondel. Die Verbindung zwischen den beiden ist entweder durch formstarre Körper (Trägerkonstruktionen, Rohre, Stangen u. dgl.) hergestellt oder sie erfolgt bloß vermittels Drähten oder Seilen. Es wurden auch Projekte aufgestellt, bei denen die Gondel in den Gasbehälter eingebaut ist und mit diesem einen einzigen Körper bildet.

Mono-, Binoaerostaten, ein- und mehrkammerige Gasbehälter. Der Gasbehälter (Tragballon) besteht aus einem einzigen Tragkörper, Monoaerostat, oder es sind zwei Spitzballons nebeneinander angeordnet, Binoaerostaten. Jeder einzelne Gasbehälter ist durch Querwände in mehrere Abteilungen (Schotte, Kammern) zerlegt oder er besteht bloß aus einem einzigen Hohlraum, einkammerige und mehrkammerige Tragkörper.

Hülle der Gasbehälter. Die Ballonhülle ist aus formstarren Körpern (Aluminium-, Stahlblech) oder aus einem dichten Gewebstoff (Seide, Baumwolle). In seltenen Fällen wurde auch Goldschlägerhaut verwendet; diese wird aus tierischen Häutchen hergestellt, die aus Rinderdärmen gewonnen werden. Die Häutchen werden zusammengeleimt und geben eine außerordentlich gasdichte und feste Hülle. Bei Gasbehältern aus formstarren Stoffen ist immer ein Versteifungsgerüste notwendig. Gasbehälter aus nicht formstarren Stoffen können gleichfalls ein Versteifungsgerüste besitzen oder die Prallerhaltung der Ballonform erfolgt bloß durch den Gasdruck gegen die Hülle allein. Das Versteifungsgerüste kann einen röhrenförmigen Hohlkörper bilden, in den das Traggas unmittelbar eingefüllt wird, oder es sind gesonderte Gasbehälter vorhanden, welche in die Versteifungsrohre eingebettet werden. Je nach dem Bau des Versteifungsgerüstes kann dieses seiner ganzen Länge nach mit einem einzigen Gasbehälter erfüllt sein; besitzt das Versteifungsgerüst aus Konstruktionsrücksichten durch Querwände eine Teilung in Schotte, so wird in jedes Schott ein entsprechend geformter Stoffballon eingelagert. Die Bespannung des Gerüstes auf der Außenseite erfolgt mit Blech oder mit Stoff.

Die Gondel ist meist kahnförmig ausgebildet. Bei manchen Konstruktionen besitzt sie einen kurzen, gedrungenen Bau, bei anderen ist sie langgestreckt in der Form eines Trägers von dreieckigem oder viereckigem Querschnitte. Um ein Niedergehen auf Wasser zu ermöglichen, wird die Gondel auch bootartig gebaut. Die meisten Konstruktionen besitzen bloß eine Gondel; bei sehr langgestreckten und großen Ballons ist der Tragkörper mit zwei Gondeln versehen, die dann mit je einem Antriebsmotor ausgerüstet werden und auch ein selbständiges Triebwerk besitzen.

Hat der Tragkörper kein formstarres Versteifungsgerüste, sondern wie beim halbstarren System bloß einen versteiften Kiel oder eine

Digitized by Google

Starrfläche, so können die Propulsionsschrauben an diesem angebracht werden, wodurch der Angriffspunkt der Propulsionskraft, der Propulsionspunkt, möglichst nahe an den Druckmittelpunkt des gesamten Translationswiderstandes, den Reaktionspunkt, herangerückt und das Drehmoment der Propulsion auf den kleinst möglichen Wert herabgedrückt wird.

An dem Tragkörper oder der Gondel sind auch die Vorrichtungen für die Höhen- und Seitensteuerung angebracht.

Die Dimensionierung des Tragballons ist sehr mannigfaltig. Es gibt schon Lenkballons mit Tragballons von weniger als 200 Kubikmeter und solche, deren Gasbehälter über 10.000 Kubikmeter faßte. Zwischen diesen Extremen finden sich alle noch möglichen Dimensionierungen. Die große Mehrzahl aller ausgeführten Lenkballonskonstruktionen hält sich zwischen rund 2000 und 3000 Kubikmeter Inhalt.

Charakteristik des Tragkörpers.

Form des Tragkörpers. Nahe bei allen neueren Konstruktionen ist der Tragkörper spindelförmig oder zylindrisch mit kegelförmigen oder ogivalen Zuspitzungen. Bei den meisten Typen ist der Gasbehälter ein Rotationskörper, also symmetrisch um die Längsachse. Aber auch andere, unsymmetrische Formen, wurden vielfach in Vorschlag gebracht. Wiederholt trifft man auf das Projekt eines Lenkballons mit kugel- oder ellipsoidsegmentartigem Tragkörper. Bei einigen neueren Typen ist der Gasbehälter an der Unterseite flach abgeschnitten und die Öffnung durch eine ebene, versteifte, formstarre Fläche abgeschlossen. Der Tragkörper hat dann in den Querschnitten, senkrecht zur Flugrichtung, nahe die Form eines Hufeisens. Die Zuspitzung des Bug- und Achterteiles des Tragkörpers ist bei den spindelförmigen Formen symmetrisch. Bei den fischförmigen Gasbehältern läuft der Achterteil schlanker zu, der Ballon geht also mit dem dickeren Kopfende voraus. Bei. manchen Konstruktionen ist das Achterende halbkugelig oder doch flach abgerundet. In der Formgebung des Bugteiles, der Spitze, herrscht große Mannigfaltigkeit. Es wurden Ballons mit vollkommen konischer Spitze gebaut und solche mit halbkugeliger Abrundung. Zwischen diesen Extremen findet man alle möglichen Zwischenformen.

Meist werden ogivale oder paraboloidische Zuspitzungen angewandt. Bei den neuesten Konstruktionen gibt man wieder der konischen Zuspitzung vielfach den Vorzug. Statt der nach außen konvex geformten Spitze, welche in den Längsschnitten eine einfach gekrümmte Linie bildet, hat man in einem Falle auch Bug- und Achterteile mit doppelt gekrümmten Spantlinien angewandt. Diese sind von der Spitze ausgehend zunächst gegen die Längslinie zu konvex und gehen dann in die konkave Krümmung über. (Lenkballon von Hänlein, 1872.)

Streckung des Tragkörpers. Das Verhältnis der Länge des Tragkörpers zu seinem größten Durchmesser heißt die Streckung. Je größer die Streckung eines Ballons ist, um so schlanker erscheint

Digitized by Google

dieser. Die Streckung der bisher ausgeführten Konstruktionen schwankt zwischen den Werten 2·5 und 11. Es erscheint selbstverständlich, daß man, um den Stirnwiderstand möglichst zu verringern, dem Tragballon eine möglichst große Streckung geben müsse. Dieser Schluß gilt aber nur bedingungsweise. Die Größe des Luftwiderstandes gegen den Tragballon setzt sich nämlich aus zwei Teilen zusammen. Der eine rührt von dem Beschleunigungswiderstande her, gewöhnlich als Luftwiderstand schlechthin bezeichnet, der zweite von der Reibung

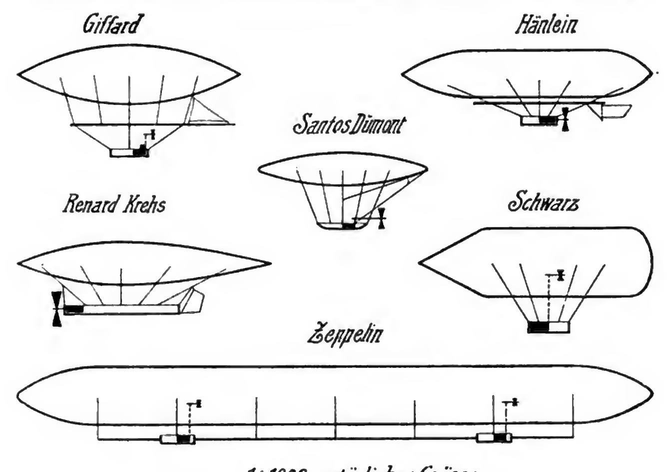


Fig. 83. Lenkballontypen.

Nach Wellner. Aus der Zeitschrift des Ingenieur- und Architektenvereines (Wien). Form des Tragkörpers von Hänlein nicht zutreffend. Bug und Achter- (vgl. S. 99) Kurve doppelter Krümmung zuerst gegen die Längsaxe konvex, dann in konkave Krümmung übergehend.

der Luft an der Außenhaut des Tragkörpers. Wenn auch dieser Reibungswiderstand der Luft gegen die Flächeneinheit sehr gering ist, nimmt er doch wegen der großen Oberfläche der zur Erzeugung relativ geringer Auftriebskräfte schon erforderlichen Gasbehälter bei größeren Geschwindigkeiten recht erhebliche Werte an. Der Reibungswiderstand wächst unter sonst gleichen Umständen proportional mit der Oberfläche des Tragballons. Mit der Vergrößerung der Streckung nimmt der Beschleunigungswiderstand ab, es wächst aber der Reibungswiderstand. Es muß deshalb für jeden Ballon von gegebenem

Digitized by Google

Inhalt einen Wert der Streckung geben, für welche der gesamte Translationswiderstand ein Minimum wird.

Über diesen kritischen Wert der Streckung wird man deshalb schon aus theoretischen Gründen nicht hinausgehen dürfen; ganz abgesehen von der Zunahme der konstruktiven Schwierigkeiten, die mit der Vergrößerung der Streckung erheblich wachsen.

Prallerhaltung der Ballonhülle. Besitzt der Tragkörper ein formstarres Versteifungsgerüste, so bietet die Prallerhaltung der Hülle keine Schwierigkeiten. Die Hülle (Stoff, Blech) kann in diesem Falle straff gespannt werden, daß sie auch bei den unvermeidlichen Gasverlusten der Tragkörper prall bleibt und keine Dallen erhält. Hat der Gasbehälter kein formstarres Traggerüste, so wird die Hülle bei jeder Verminderung der Spannung des Füllgases, infolge Abkühlung, sowie bei jeder Abnahme der Menge des Füllgases schlaff werden und unter dem Einflusse des Luftwiderstandes bei der Translation an der Stirnkappe und auch an den Seitenwänden Einbuchtungen (Dallen) erhalten, die eine Verminderung der Glätte der Außenhaut und somit eine erhebliche Vermehrung des Stirnwiderstandes bedingen. Die Technik der Herstellung gasdichter Ballonstoffhüllen hat wohl bereits einen hohen Grad von Vollkommenheit erreicht. Es gibt aber keinen absolut gasdichten Gewebsstoff. Auch durch den best gedichteten Ballonstoff diffundiert ständig ein gewisser Bruchteil des Füllgases durch die Hülle nach außen. Das Volumen des Füllgases wird deshalb allmählich geringer, die Hülle bekommt Runzeln, Falten. Bei jeder Temperaturverminderung zieht sich das Füllgas zusammen, die Hülle wird schlaff. Soll dieses Schlaffwerden vermieden werden, so muß der Tragkörper mit einem „Ballonet" ausgerüstet werden. Es ist dies ein kleiner Stoffballon, der im Innern des Tragkörpers so angebracht ist, daß er durch einen kurzen Schlauch (Appendix), der gegen den Gasraum gasdicht abgeschlossen ist, mit der Außenluft in Verbindung steht. Mittels eines Ventilators kann durch den Schlauch Luft in das Ballonet eingeblasen werden. In dem Maße, als das Ballonet sich mit Luft füllt, wird auch der Gasinhalt (Füllgas mehr Ballonetluft) des Tragkörpers größer, bis die Hülle wieder völlig prall gespannt erscheint.

Soll der Lenkballon imstande sein, zu erheblichen Höhen aufzusteigen, muß der Tragkörper gleichfalls mit einem genügend großen Ballonet versehen sein. Steigt ein Ballon auf, so kommt er unter ständig abnehmenden Luftdruck. Die Hülle ist gegen die Außenluft gasdicht abgesperrt. Das Füllgas behält deshalb seine Spannung bei, es muß sonach allmählich ein Überdruck des Füllgases gegen die Außenluft auftreten, welcher im selben Maße, als der äußere Luftdruck abnimmt, wächst. Der gewöhnliche Kugelballon steigt mit offenem Füllansatz auf. Bei ihm können deshalb erhebliche Druckdifferenzen zwischen Füllgas und Außenluft nicht auftreten. Infolge der rasch eintretenden Gasverschlechterung ist bei den Lenkballons der Füllansatz durch ein Sicherheitsventil abgesperrt. Übersteigt der Überdruck des Füllgases gegen die Außenluft einen gewissen maximalen Betrag, so bläst durch das Sicherheitsventil Gas ab. Das Ventil verhindert jedoch ein Eindringen, Ansaugen, von Außenluft

Digitized by Google

in den Tragkörper, das erfolgen müßte, wenn bei Temperaturerniedrigungen das Füllgas sich zusammenzieht oder der Ballon beim Sinken unter ständig wachsenden Luftdruck kommt. Ist der Tragballon mit einem Ballonet versehen, so bläst dieses beim Aufstieg, entsprechend der Abnahme des atmosphärischen Druckes, Luft ab. Beim Abstieg wird das Ballonet durch einen Ventilator wieder mit Luft gefüllt. Durch Einschaltung des Ballonets werden also die Volumsänderungen des Füllgases auf die Ballonetluft übertragen, sie können sich so ohne Verlust an Füllgas vollziehen. Darin liegt der große Wert des Ballonets.

Die Ballonetgröße muß sich nach der Maximalhöhe richten, welche der Ballon noch erreichen soll. Ist diese z. B. 2000 Meter, so verliert der Ballon, weil der Luftdruck 594 Millimeter, d. i. 594/760 = 0·78, also rund um $^1/_4$ abgenommen hat, einen ebenso großen Betrag an Gas. Er würde sonach, wenn er wieder am Boden angelangt ist, nur mehr $^3/_4$ der ursprünglichen Füllgasmenge enthalten. Soll die Hülle dennoch prall bleiben, muß ersichtlich das fehlende Füllgas durch Luft ersetzt werden. Das Ballonet muß also einen Inhalt haben gleich dem dritten Teile des Volumens des Tragballons.

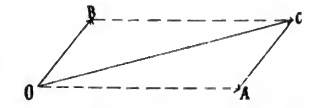


Fig. 84. Translation des Lenkballons. Zusammensetzung der Geschwindigkeiten bei der Translation des Lenkballons, *OA* Windgeschwindigkeit in Metern, *OB* Eigengeschwindigkeit des Lenkballons, *OC* Translationsgeschwindigkeit in bezug auf einen fixen Punkt der Erdoberfläche.

Charakteristik der Gondel.

Als Baumaterial für das Gondelgerüste wird Metall (Stahl, Aluminium) oder Holz verwendet. Stahl und Aluminium benützt man in der Form von Rohren oder in Trägerkonstruktionen. Ein sehr zweckmäßiges Baumaterial dürften die nach dem Verfahren von Lourié (Wien) hergestellten Holzplatten aus gepreßten Furnieren werden, welche die größte Leichtigkeit mit größter Festigkeit verbinden. Mit Stahlblech in T, I oder beliebigen anderen Querschnittsformen armiert, dürften derartige gepreßte Holzplatten, welche sich nicht werfen und in allen möglichen Formen hergestellt werden können, für viele Bestandteile ein ausgezeichnetes Baumaterial ergeben. Auch gesplißter Bambus, bzw. Tonkingrohre, nach dem Verfahren von Etrich-Wels hergestellt, geben für manche Teile ein sehr festes und leichtes Baumaterial. Die Wahl des Konstruktionsmateriales und dessen Formgebung muß sich der spezifischen Funktion des betreffenden Bestandteiles anpassen und bleibt dem Takte des Konstrukteurs überlassen. Ein bestes Konstruktionsmaterial für alle Bestandteile gibt es nicht. Für gewisse Teile ist dieser Stoff, für andere jener vorzuziehen. Stets ist darauf zu achten, daß die Festigkeit des Materiales möglichst gleichförmig ausgenützt werde. Die Gondel soll als Ganzes und in allen ihren Elementen einen Körper gleicher und größter Festigkeit darstellen.

Digitized by Google

Suspension der Gondel.

Die Verbindung der Gondel mit dem Tragballon erfolgt auf sehr mannigfache Weise, sie kann durch formstarre Elemente (Rohre, Stangen) oder bloß durch Drähte, Seile hergestellt werden. In letzterem Falle muß durch Diagonaldrähte eine relative Verschiebung zwischen Gondel und Tragkörper verhindert werden.

Zur Fixierung der Tragseile am Gasbehälter wurde bei den ersten Konstruktionen ein Netz über den Ballon gelegt, dessen Maschen wie beim gewöhnlichen Kugelballon in Gänsefüße ausliefen, die sich dann in die Fesselleinen auflösten. Durch das Netz wurde der Luftwiderstand gegen den Tragkörper erheblich vermehrt. Man ließ deshalb später das Netz ganz weg und fixierte die Tragseile mittels Schlaufen an Gurten, welche am Tragkörper parallel dessen Längsdimension zur Versteifung der Hülle angenäht wurden. Bei den älteren Konstruktionen dienten als Trageleinen Hanfseile, in neuerer Zeit ersetzte man diese durch dünne Stahldrähte (Klaviersaitendrähte), bei den neuesten Typen werden Stahldrahtkabel verwendet. Bei dem halbstarren System erfolgt die Fixierung der Tragseile nicht unmittelbar an der Ballonhülle selbst, sondern an der Unterseite der Starrfläche. Beim starren System sind Tragkörper und Gondel durch formstarre Elemente fix verbunden. Eine gewisse Elastizität der Verbindung erscheint wünschenswert. Die Gondel kann infolge ihres Baues eventuelle Stöße bei der Landung leicht aufnehmen, nicht aber der Ballon, bzw. dessen Versteifungsgerüste. Um die Landungsschoks zu vermindern, wird die Gondel auch mit Puffern ausgerüstet. Wiederholte Unfälle haben die Notwendigkeit ergeben, auf die Gondelsuspension besondere Sorgfalt zu verwenden.

Antrieb (Propulsion).

Jeder automobile Ballon muß mit einem Propeller ausgerüstet sein, der ihm den erforderlichen dynamischen Stützpunkt in der Luft verschafft. Am häufigsten kommt der Schraubenpropeller in Anwendung. Es wurden auch Projekte aufgestellt mit Radpropeller- oder Reaktionspropellerantrieb, bei denen der Vortrieb nach Art der Schaufelraddampfschiffe durch rotierende Schaufelräder oder in der Weise erzeugt wird, daß mittels eines Ventilators oder Kompressors ein Luftstrom horizontal nach hinten erzeugt wird, dessen Reaktion den Vortrieb bewirkt. Von den bisher bekannt gewordenen und erprobten Propulsionsmethoden geben den günstigsten Effekt rationell konstruierte Luftschrauben.

Hinsichtlich der Zahl der Propulsionsschrauben herrscht große Mannigfaltigkeit. Es wurden Einschrauber, Zwei- und Vielschrauber projektiert. Die meisten der bisher auch praktisch erprobten Typen waren mit einer oder mit zwei Propulsionsschrauben versehen. Bei Einschraubern fällt die Propellerachse immer in die Richtung der Längsachse des Tragballons; bei Zweischraubern sind die Schrauben entweder an derselben Achse, koaxial (hintereinander liegend) oder an verschiedenen Achsen disaxial, (nebeneinander liegend) angeordnet. Die Schrauben können am Versteifungsgerüste der Gondel, zwischen

Digitized by Google

Gondel und Tragkörper oder am Gasbehälter selbst aufmontiert sein. Ist der Tragkörper mit einem Versteifungsgerüste versehen, so können die Schrauben an diesem selbst angebracht werden, und zwar in der Höhe des Druckmittelpunktes, der infolge des Stirnwiderstandes der Gondel und der Suspension ein wenig unterhalb der Längslinie des Tragballons liegt. Diese Anordnung ist theoretisch die günstigste, weil jedes Drehmoment bei Änderungen der Vortriebskraft beim Anlauf oder beim Stoppen vermieden wird.

Erfolgt die Anbringung des Propellers unterhalb des Druckmittelpunktes des ganzen schwebenden Systems, so tritt immer ein Drehmoment gegen diesen auf, das stabilitätsstörend wirkt.

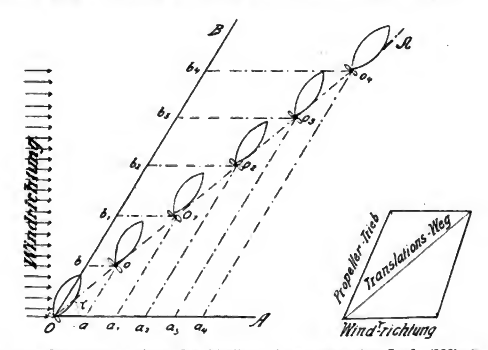


Fig. 85. Bewegung eines Lenkballons in strömender Luft (Wind).

OA Strömungsrichtung des Windes, *OB* Richtung des Propellerschubes id est der Längsachse des Ballons, *OΩ* Translationsrichtung bezogen auf einen fixen Punkt der Erdoberfläche; $Oa = aa_1 = a_1a_2 = a_2a_3 = \ldots$ Windwege in gleichen Zeitteilchen, $Ob = bb_1 = b_1b_2 = b_2b_3 = \ldots$ Eigenwege des Ballons infolge des Propellerschubes. $Oo = oo_1 = o_1o_2 = o_2o_3 = \ldots$ Resultierende Translationswege in bezug auf einen fixen Erdpunkt.

Auch die Anbringung der Propulsionsschrauben am Bug, bzw. Achterende des Tragballons wurde wiederholt vorgeschlagen und bei einer Type auch zur Ausführung gebracht. Von dieser Anordnung der Schrauben am Bugende des Gasbehälters hat man sich große Vorteile erhofft. Der Propeller sollte die Luft vor dem Tragballon wegschaffen oder doch verdünnen, wodurch der Stirnwiderstand vermindert werden sollte. Diese Ansicht entspricht jedoch keineswegs den Tatsachen. Durch die von der Schraube nach rückwärts geworfene Luft tritt vor der Spitze des Tragballons eine Luftstauung ein, welche den Effekt der Schraubenwirkung herabdrückt. Weiters muß die Spitze so stark versteift werden, daß sie auch den durch den Slipstrom der Schraube vermehrten Druck ohne Dallenbildung aushalten kann. Die Ansicht, daß die Schraube

Digitized by Google

einen luftverdünnten Raum vor der Spitze erzeugen könne, beruht auf einer Mißverkennung der tatsächlich obwaltenden physikalischen Verhältnisse. Abgesehen von den bisher genannten Übelständen, bedingt die Anbringung der Schrauben am Bugende auch noch eine erhebliche Komplikation der Krafttransmission. Die Katastrophe des Ballons von Severo hat gezeigt, wie gefährlich es ist, durch den Tragkörper eine Achse durchgehen zu lassen. Auch die Anbringung der Schraube am Achterende des Ballons, nach Art der Seeschiffe, erscheint nicht rationell, weil wegen der relativ zum Ballondurchmesser geringen Dimensionierung der Schraube der freie Zufluß der Luft gehemmt wird, was eine Effektverminderung des Propellers zur Folge hat. Die mechanischen Schwierigkeiten der Durchdringung des Ballonkörpers mit einer Achse besteht auch im Falle der Anbringung der Schraube am Achterende. Es muß als Grundsatz für eine rationelle Konstruktion gelten, daß der Gasbehälter gegen die Außenluft hermetisch abgeschlossen bleibt. Aus den genannten Gründen erscheint die Anbringung des Propeller am Bug- oder Achterende nicht rationell.

Propulsionsschrauben.

Größe und Konstruktion der Schrauben. Bei den bisher erprobten Typen schwankt die Schraubengröße zwischen wenig über ein Meter und neun Meter Durchmesser. Man wendet entweder wenige große und langsam laufende oder mehrere kleinere schnell rotierende Schrauben an. Welcher Arbeitsmethode der Vorzug zu geben ist, darüber läßt sich allgemein nichts aussagen. Es kann mit relativ kleinen, sehr flachgängigen, rasch rotierenden Schrauben derselbe oder nahe derselbe Effekt erzielt werden wie mit großen und langsam laufenden.

Bei der großen Mehrzahl der bisher erprobten Typen haben die Schrauben bloß zwei einander gegenübergestellte, opponierte Flächen (Blätter). Bei älteren Konstruktionen kamen auch vierflügelige Schrauben in Anwendung. Eine der neuesten Typen (Zeppelin) verwendet zwei Paar dreiflügelige Schrauben. Die Tourenzahl der Schrauben schwankt zwischen nahe 30 in der Minute bei den großen langsam laufenden und über 1000 bei den kleinen Schnelläufern. Die Schraube des berühmten Lenkballons „La France" von Ch. Renard gab bei einer Tourenzahl von rund 50 in der Minute einen Vortrieb (Schub) von nahezu 65 Kilogramm. Die dazu erforderliche Antriebsarbeit war etwas über 8 Pferdekräfte. Dies gibt also einen spezifischen Vortrieb, Schub pro Pferdekraft, von rund 8 Kilogramm. Mit neueren Schraubenkonstruktionen hat man vielfach weit höhere Werte des spezifischen Antriebes erzielt. Maßgebend für die Güte einer Propulsionsschraube ist unter sonst gleichen Umständen der charakteristische spezifische Schub, d. i. der Vortrieb bei der Maximalleistung des Antriebsmotors. Soll ein Lenkballon eine bestimmte Translationsgeschwindigkeit, sagen wir 20 Meter pro Sekunde, erreichen, so muß der Propeller imstande sein, einen Vortrieb zu erzeugen, der gleich ist dem gesamten Rücktriebe bei der angenommenen Translationsgeschwindigkeit. Die Größe des charakteristischen spezifischen Schubes

Digitized by Google

ist außer von der Konstruktion der Schraube noch abhängig von deren Tourenzahl und der Translationsgeschwindigkeit. Jene Schraube ist unter sonst gleichen Umständen am günstigsten, bei welcher der

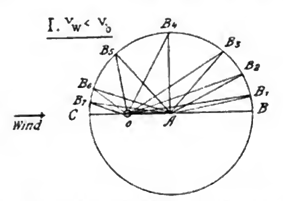


Fig. 86 I. Aktionsfeld des Lenkballons für $v_w < v_b$.

$OA = v_w =$ Windgeschwindigkeit (*m/sec*) nach Richtung und Größe: $|AB| = v_b =$ Eigengeschwindigkeit dem absoluten Betrage nach (*m/sec*); O Anfangspunkt der Bewegung; OB, OB_2, OB_7 Translationsrichtungen. Ballon kann jeden Punkt des Horizontes erreichen. Aktionsfeldwinkel = 360 Grad. Deviationswinkel (Winkel zwischen Windstrich und Kurs) kann alle Werte annehmen von + 180 bis — 180 Grad.

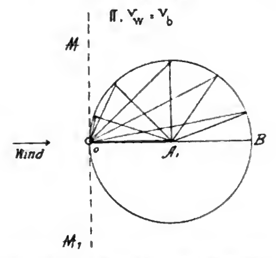


Fig. 86 II. Aktionsfeld des Lenkballons für $v_w = v_b$.

$OA_1 =$ Windgeschwindigkeit (*m/sec*); A_1B_1 = Eigengeschwindigkeit; O Anfangspunkt der Bewegung. Ballon kann bloß alle Punkte erreichen, die rechts liegen von MM'. $MM' \perp OA_1$. Aktionsfeldwinkel = 180 Grad. Deviationswinkel + 90 bis — 90 Grad.

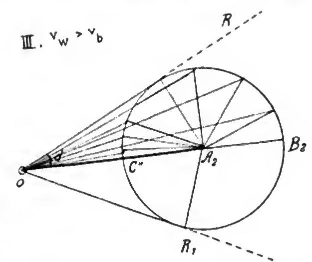


Fig. 86 III. Aktionsfeld des Lenkballons für $v_w > v_b$.

$OA_2 =$ Windgeschwindigkeit (*m/sec*), A_2B_2 = Eigengeschwindigkeit (*m/sec*); O Anfangspunkt der Bewegung. Ballon kann alle Punkte erreichen innerhalb des Flächenkeiles ROR'. Aktionsfeldwinkel $ROR' = 2\,\alpha$; $\sin \alpha / 2 = v_b / v_w$. Deviationswinkel

$$+\frac{\alpha}{2} \text{ bis } -\frac{\alpha}{2} \left(\frac{\alpha}{2} < 90 \text{ Grad}\right).$$

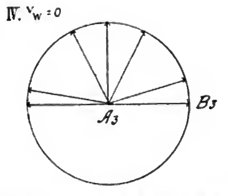


Fig. 86 IV. Aktionsfeld des Lenkballons für $v_w = 0$.

$A_3B_3 =$ Eigengeschwindigkeit (*m/sec*), Aktionsfeld umfaßt alle Punkte des ganzen Horizontes. Deviationswinkel 0 bis 360 Grad.

charakteristische spezifische Schub bei der maximalen Tourenzahl auch einen Maximalwert erreicht. Der charakteristische spezifische Schub wächst mit zunehmender Translationsgeschwindigkeit. Um zu-

Digitized by Google

verlässige Daten für die Beurteilung der Güte einer Propulsionsschraube zu erhalten, muß der Schub und die Antriebsarbeit während der Translation gemessen werden. Dieser Forderung entsprechen von den bisher angestellten Versuchen am besten die Prüfungen von Langley an einem großen Rundlaufapparate. Weniger zuverlässige Zahlenwerte für die Beurteilung der Güte einer Propulsionsschraube liefern die Methoden von Renard mittels der dynamometrischen Wage und der Wage, bzw. Pendelmethode von Wellner. Man erhält bei den Erprobungen am Ort, d. i. ohne gleichzeitige Translation einen Minimalwert für den durch eine Schraube gegebener Konstruktion erzielbaren Schub. Für eine rasche Orientierung über

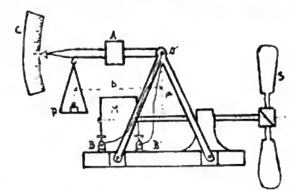


Fig. 87. Apparat zur Prüfung von Luftschrauben. Nach Ch. Renard.

Elektromotor *M* samt Gestell, auf dem er montiert ist und der zu prüfenden Schraube *S*, um die horizontale Achse *O* drehbar montiert. Mit dem Gestell weiters fix verbunden horizontaler Arm, auf dem ein Laufgewicht *A* verschiebbar ist und der eine Gewichtsschale *P* trägt. Läuft der Motor, so erzeugt der Schraubenschub *P* um die Suspensionsachse das Drehmoment *P . a*. Der Zeiger wird sich an der Skala *C* verschieben. Um ihn wieder in die alte Lage zurückzuführen, wird das Gewicht *P* aufgelegt. Das Drehmoment des Gewichtsdruckes *P* ist *P . b*. Im Gleichgewichtsfalle muß sein *P . a* = *P . b*. Da *a*, *b* und *P* gegeben sind, kann *S* leicht berechnet werden. Der Apparat ist mittels einer Cardanischen Aufhängung gleichzeitig um eine horizontale, in der Bildebene liegende, auf *O* senkrecht stehende Achse drehbar suspendiert und mit einer analogen Wägevorrichtung versehen. Rotiert der Propeller, so erzeugt die Schraubenhemmung ein Drehmoment um die Drehachse, das durch Gewichte ausbalanziert wird. Man erhält auf diese Weise durch zwei Wägungen mit großer Genauigkeit den Schraubenschub und die Hemmung, und daraus die erforderliche Antriebsarbeit. Für die Prüfung von Propulsionsschrauben erscheint der Apparat wegen mangelnder Translation weniger geeignet als die Langleysche Type.

die relative Güte einer Anzahl vorliegender Schraubenkonstruktionen sind auch derartige leicht auszuführende Messungen ohne Translation von Wert. Den genauen Wert für den charakteristischen spezifischen Schub erhält man dann durch Messung des Vortriebes bei verschiedenen Translationsgeschwindigkeiten. Für die Konstruktion der Propulsionsschrauben von Lenkballons gelten dieselben Bemerkungen wie beim Drachenflieger. Siehe „Technik der Drachenflieger“.

Stabilisierung.

Soll ein Lenkballon die zufolge seiner Konstruktion erreichbare größtmögliche Eigengeschwindigkeit erzielen, so muß der Tragkörper in der Längsrichtung, longitudinal, und in der Querrichtung, trans-

Digitized by Google

versal, stabilisiert sein, so daß die auftretenden Schwankungen bei Änderungen der Intensität der Propulsionskraft oder bei der Einwirkung äußerer Kräfte (Windwellen), bzw. bei Änderungen der Gewichtsverteilung in der Gondel tunlichst gering sind und möglichst rasch gedämpft werden. Der Tragkörper wird zu diesem Zwecke mit horizontalen und vertikalen Stabilisierungs-(Dämpfungs-)flächen ausgerüstet. Diese werden gewöhnlich am rückwärtigen Ende des Tragkörpers angebracht. Beim starren System kann die Fixierung der Stabilisierungsflächen unmittelbar am Versteifungsgerüste des Gasbehälters erfolgen. Um den Tragkörper auch gegen Schlinger-

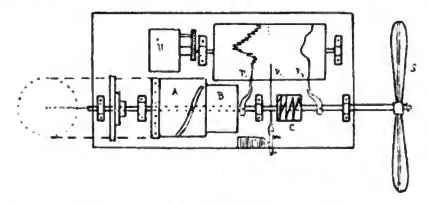


Fig. 88. Apparat zur Erprobung von Propulsionsluftschrauben nach Langley.

Schraubenachse aus drei miteinander elastisch verbundenen Teilen hergestellt. Zwei Teile können bloß in der Drehrichtung gegeneinander verschieben, die dritte Verbindung gestattet bloß eine Verschiebung in der Richtung der Schraubenachse. Die erste Unterbrechung der Schraubenachse erfolgt zwischen dem aufgekeilten Zylinder *B*, der in den Hohlzylinder *A* knapp eingepaßt ist. Ein mit *B* verbundener Stift bewegt sich in einem *S*förmigen Schlitz von *A*. In *A* ist das eine Ende einer Spiralfeder fixiert, das zweite Ende ist mit *b* verbunden. Bei Verdrehungen von *B* gegen *A* im Sinne der Rotationsrichtung wird die Spiralfeder gespannt, bis ihre Spannung dem Drehmoment, das auf die Schraubenachse ausgeübt wird, das Gleichgewicht hält. Infolge der Wirkung der Komponente des Luftwiderstandes parallel zur Schraubenachse wird ein Druck ausgeübt, der durch die Spiralfeder im Zylinder *C*, wo die Achse zum zweiten Male durchschnitten ist, aufgenommen wird. Das linke Ende der Achse ist mit dem linken Ende der Spirale fix verbunden, das rechte Achsenende mit dem rechten Ende der Spirale. Die Spannung der Feder *C*, welche durch die Feder P_2 auf einer rotierenden Trommel aufgezeichnet wird, gibt den Schraubenschub. Die Hemmung der Schraube, der Widerstand gegen die Drehung, wird durch die Feder P_1 fortlaufend registriert. Da eine Schraube bei der Rotation am Ort erfahrungsgemäß nicht dieselbe Wirkung gibt wie bei der Translation, hat Langley den Apparat auf seinen großen Rotationsapparat montiert und auf diese Weise ziemlich einwandfreie Resultate erhalten.

bewegungen, d. i. gegen Schwingungen um die Longitudinalachse (parallel zur Längsachse des Ballons) zu stabilisieren, wird dieser mit einer senkrechten Fläche (Kielfläche) versehen. Die Ausbildung der Kielfläche erfolgt auf sehr mannigfaltige Weise. Beim starren System die Anbringung eines senkrechten Kieles am Versteifungsgerüste ohne Schwierigkeit, ebenso beim halbstarren System an der Starrfläche oder am versteiften Kiel selbst. Die tergalen Stabilisierungsflächen (horizontale und vertikale Schwanzflächen) und die an der Bauchseite des Tragkörpers angebrachte ventrale Stabilisierungsfläche (Kielfläche) erteilen dem Gasbehälter auch eine Führung in der Luft.

Digitized by Google

Bei jeder Abweichung vom Kurse treten die Stabilisierungsflächen in Aktion und drehen den Tragkörper wieder automatisch in die Kursrichtung zurück. Die ersten Lenkballonkonstruktionen besaßen keine Stabilisierungsvorrichtungen. Erst Ch. Renard wurde auf deren Notwendigkeit aufmerksam und versah bei dem Lenkballon „La France“ die als langer viereckiger Träger ausgebildete Gondel mit einer horizontalen Stabilisierungsfläche. Julliot bildete bei der Lebaudy-Type das System der Stabilisierungsflächen weiter aus und wies deren große Bedeutung für die Erhöhung der Leistungsfähigkeit eines Lenkballons nach. Man hat früher die erreichbare maximale Eigengeschwindigkeit eines Lenkballons in erster Linie nach der zur Verfügung stehenden Motorkraft beurteilt. Es hat sich gezeigt, daß die Verbesserung der Stabilisierungsflächen von ebenso großer Bedeutung für die Erhöhung der Eigengeschwindigkeit ist wie die Vergrößerung der Antriebskraft. Ein schlecht stabilisierter Tragkörper konsumiert mehr Motorkraft nutzlos, als die leichteste Kraftmaschine zu leisten vermag. Außer durch aerodynamische Mittel könnte die Stabilisierung auch durch mechanische Mittel, durch Gyroskope, erreicht werden.

Popper hat die mechanische Stabilisierung schon 1872 (vgl. „Flugtechnik“ p. 120) vorgeschlagen. Rationelle Versuche in größerem Maßstabe scheinen bisher nicht angestellt worden zu sein.

Steuerung.

Seitensteuerung. Die Lenkung eines Motorballons nach links oder rechts vom geradlinigen Kurs kann in einfachster Weise durch ein gewöhnliches vertikales Steuer wie bei Wasserschiffen erreicht werden. Jeder Lenkballon zerfällt in bezug auf eine durch die Mittellinie des Tragkörpers gelegte lotrechte Ebene in zwei symmetrische Hälften. Die Mittelkraft des Luftwiderstandes in bezug auf das ganze schwebende System fällt gleichfalls in die Symmetrieebene. Wird nun eine am Achterende des Tragkörpers angebrachte lotrechte Steuerfläche nach rechts oder nach links gedreht, so verschwindet die Symmetrie. Infolge des Luftwiderstandes gegen die Steuerfläche muß sich der Tragkörper vom Kurse abdrehen. Wird die Steuerfläche nach der anderen Seite gedreht, so erfolgt auch die Kursdrehung nach der gleichen Richtung. Sollen die Kursänderungen hinreichend rasch erfolgen, so muß die Steuerfläche genügend groß gewählt werden und so gelagert sein, daß der Luftzufluß möglichst unbehindert erfolgt. Bei einzelnen Konstruktionen ist die Steuerfläche am Tragkörper selbst angebracht, bei anderen unmittelbar an der Gondel oder auch an der Suspension zwischen Tragkörper und Gondel, bzw. an der Starrfläche oder dem Kiel.

Höhensteuerung. Die Abweichungen vom horizontalen Kurse nach oben oder unten, die Höhensteuerung, kann auf aerostatischem oder auch auf aerodynamischem Wege erfolgen. Die aerostatische Höhensteuerung geschieht in derselben Weise wie beim gewöhnlichen Kugelballon durch Auswerfen von Ballast, beziehungsweise Ablassen von Füllgas. Auf aerodynamischem Wege können Höhen-

Digitized by Google

änderungen dadurch erzielt werden, daß Tragkörper oder Gondel mit Drachenflächen ausgerüstet werden, die einen aerodynamischen Auftrieb, beziehungsweise Abtrieb geben. Der aerodynamische Auftrieb addiert sich zum aerostatischen Auftrieb des Gasbehälters und der Ballon hebt sich über die seinen Dimensionierungen und dem momentanen Zustande des Füllgases und der Außenluft entsprechende Schwebehöhe. Statt durch besondere Drachenflächen kann die Höhensteuerung auch durch die Schiefstellung der Längsachse des Ballons aerodynamisch erzielt werden. Der Luftwiderstand gegen schief gestellten Tragkörper gibt eine lotrechte und eine horizontale Komponente; die letztere wirkt hemmend, geschwindigkeitsvermindernd; die lotrechte Komponente vermehrt den aerostatischen Auftrieb und hebt

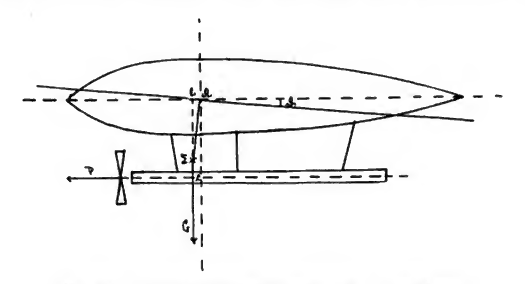


Fig. 89. Longitudinale Stabilisierung von Lenkballons.

Propulsionskraft P erzeugt in bezug auf das aerostatische Auftriebszentrum Drehmoment $P \,.\, \Omega c$; Gewichtsdruck G, der im Schwerpunkt des schwebenden Systems angreift das Gegendrehmoment $G \,.\, \Omega b$. Jede Variation der Intensität von P oder der Änderung des Luftwiderstandes gegen den Tragkörper erzeugt Schwingungen um die Längsachse des Ballons.

den Ballon über die Gleichgewichtslage hinaus. Die Schiefstellung der Längsachse des Ballons kann entweder durch Verschiebung eines Laufgewichtes oder mittels eines im rückwärtigen Ende des Tragkörpers angebrachtes Ballonet erfolgen. In das Ballonet wird Luft eingepumpt. Da ein Kubikmeter Luft an der Erdoberfläche rund 1·3 Kilogramm wiegt, nimmt das Gewicht des Tragkörpers für jedes Kubikmeter in das Ballonet gepumpter Luft rund um ein Kilogramm zu. Infolge der dadurch erfolgenden Verlagerung des Schwerpunktes in Bezug auf das Auftriebszentrum wird sich das rückwärtige Ballonende nach unten senken. Läßt man die im Ballonet angesammelte Luft in die Atmosphäre ausblasen, so stellt sich die Längsachse wieder horizontal. Am bequemsten und wirkungsvollsten erscheint die Höhensteuerung durch aerodynamische Hilfsmittel. Außer den bisher erwähnten Methoden kann die Höhensteuerung auch durch Anwendung von Luftschrauben, die um eine lotrechte Achse rotieren, Hubschrauben, erfolgen.

Digitized by Google

Durch Anwendung von entsprechend wirksamen Drachenflächen oder Hubschrauben kann ein Lenkballon erheblich über seine aerostatische Gleichgewichtslage gehoben oder gesenkt werden.

Aerostatische Navigation.

In den ersten Jahrzehnten nach der Erfindung des Luftballons glaubte man vielfach ohne Zuhilfenahme einer besonderen motorischen Kraft bloß durch die Energie des Windes den Vortrieb von Lenkballons erzielen zu können. Alle Versuche, den Ballon durch Segel nach Art der Seeschiffe zu steuern, mußten notwendig fehlschlagen. Unter dem Druck des Windes nimmt ein frei in der Luft schwebender Ballon allmählich dessen Geschwindigkeit an. Sowie dies der Fall ist, verschwindet jeder Druck des Windes gegen das schwebende System. Im Korbe eines gewöhnlichen Kugelballons fällt eine Flaumfeder wie in einem geschlossenen Zimmer senkrecht zu Boden. Es ist deshalb unmöglich, durch Segel, sie mögen wie immer konstruiert sein, eine Ablenkung vom Windstriche zu erzielen.

Wendet man einen Propeller an, welcher dem Ballon einen dynamischen Stützpunkt verschafft und ihm deshalb unabhängig vom Bewegungszustande der umgebenden Luft eine Eigengeschwindigkeit erteilt, so addiert sich die Strömungsgeschwindigkeit des Windes mit der Eigengeschwindigkeit des Ballons nach Größe und Richtung geometrisch. Man erhält die Ballonbahn inbezug auf dieselbe Stelle der Erdoberfläche, indem man aus der Eigengeschwindigkeit des Ballons und der Strömungsgeschwindigkeit der Luft ein Parallelogramm konstruiert. Die Diagonale des Parallelogramms ist nach Größe und Richtung gleich der Geschwindigkeit des Ballons in bezug auf den fixierten Erdpunkt. Die Propulsion erfolgt in der Richtung der Längsachse des Ballons, diese fällt deshalb bloß in windstiller Luft mit der Kursrichtung zusammen, weicht aber in strömender Luft stets von der Kursrichtung ab.

Zeichnet man, von demselben Punkte ausgehend, die Eigengeschwindigkeiten eines Ballons nach allen Richtungen des Horizontes und setzt sie mit den Windgeschwindigkeiten zusammen, so erhält man durch die Verbindung der Endpunkte der Diagonalen der Geschwindigkeitsparallelogramme den geometrischen Ort der möglichen Ballonbahnen.

Sie liegen alle auf dem Umfange eines Kreises. Die Fläche, welche ein Lenkballon bei einer gegebenen Windgeschwindigkeit bestreichen kann, nennen wir sein Aktionsfeld und den Winkel, um welchen seine Bahn von der Windrichtung abweichen kann, den Aktionswinkel. Ist die Windgeschwindigkeit kleiner als die Eigengeschwindigkeit, wird der Aktionswinkel gleich 360 Grade; der Lenkballon kann jeden beliebigen Punkt des Horizontes erreichen, er ist also a b s o l u t l e n k b a r. Wird die Windgeschwindigkeit gleich der Eigengeschwindigkeit angenommen, so ist der Aktionswinkel 180 Grade; der Ballon kann bloß die eine Hälfte des Horizontes bestreichen. Die Gerade senk-

Digitized by Google

recht zum Windstrom bildet die Grenze in dem unerreichbaren Raumteil. Die Lenkbarkeit ist in diesem Falle beschränkt. Ist die Windgeschwindigkeit größer als die Eigengeschwindigkeit des Ballons, so wird der Aktionswinkel kleiner als 180 Grad. Es ist nur mehr eine größere oder kleinere Ablenkung vom Windstriche möglich. Bei Windstille kann ein mit einem Propeller ausgerüsteter Ballon stets jeden beliebigen Punkt des Horizontes erreichen. Der Aktionswinkel ist ganz unabhängig von der Eigengeschwindigkeit gleich 360 Grade.

Motor.

Solange bloß die Muskelkraft der Gondelinsassen als Antriebskraft für die Propeller verwendet werden konnte, war an die Erzielung größerer Eigengeschwindigkeiten natürlich nicht zu denken. Erst um die Mitte des neunzehnten Jahrhunderts gelang es Giffard eine leichte Dampfmaschine zu konstruieren, welche in der Gondel hochgenommen werden konnte. Hänlein wandte als erster den Gasmotor an und Wölfert den Benzinmotor. Das spezifische Motorgewicht, d. i. das Gewicht pro Pferdekraft, spielt bei der praktischen Lösung des Problems der Lenkbarmachung des Ballons die wichtigste Rolle. Außer der Leichtigkeit des Motors kommt aber auch im selben Maße dessen Betriebsicherheit und Betriebsdauer in Betracht. Durch den rasch aufblühenden Automobilismus ist das Gewicht der Benzinmotore schon sehr erheblich herabgedrückt worden. Auch die Betriebssicherheit hat bereits so hohe Werte erreicht, daß bei allen neueren Lenkballontypen ausschließlich der Benzinmotor zum Antrieb verwendet wird. Wiederholte Unglücksfälle haben die Notwendigkeit ergeben, den Motor nicht allzu nahe unter dem Gasbehälter anzubringen und für dessen möglichst feuersichere Isolierung Sorge zu tragen. Vergleiche auch die Ausführungen im Kapitel „Technik der Drachenflieger“.



Digitized by Google

II. Teil.

Der aerodynamische Flug.

Gleit- und Segelflieger.

Geschichtliches.

Vorgeschichte: Mythen, Sagen und Legenden. Die älteste Legende über einen Versuch mit einem Gleitflieger finden wir in den englischen Chroniken. König Bladud, der Vater des Königs Lear, der zur Zeit der Gründung Roms über Britannien regiert haben soll, hat angeblich einen Apparat hergestellt, mit dem er über seiner Hauptstadt Trinovante in der Luft segelte. Er habe aber dabei das Gleichgewicht verloren, sei auf einen Tempel herabgestürzt, wobei er den Tod fand [1]).

Die christliche Tradition der ersten Jahrhunderte der Kirche erwähnt die Versuche eines berühmten Magiers mit Namen Simon, welcher nicht zufrieden mit seinem Rufe nach göttlichen Ehren dürstete. Er lebte in Rom zur Zeit des Nero. Simon wollte eines Tages den König Nero von seiner göttlichen Sendung überzeugen und versprach, sich vor aller Augen in den Himmel zu erheben. Alles strömte zusammen, um Zeuge eines so ungewöhnlichen Schauspieles zu sein. Simon erhob sich oder wurde vielmehr von den Dämonen emporgehoben, aber St. Petrus verrichtete ein Bittgebet, das die Macht der bösen Geister lahmlegte, der Magier stürzte herab und wurde zerschellt [2]).

Im 11. Jahrhundert soll ein englischer Benediktinermönch, Olivier de Malmesbury sich nach der Beschreibung des Ovid einen Flügelapparat angefertigt haben, mit dem er von der Spitze eines Turmes gegen den Wind absprang. Es gelang ihm, eine Strecke von ungefähr 120 Schritt zu durchfliegen, dann stürzte er und brach beide Schienbeine. Im 12. Jahrhundert führt ein Sarazen, der sich als Magier gerierte, in Konstantinopel einen ähnlichen Versuch aus, der ein noch kläglicheres Ende nahm. Der Sarazen machte sich anheischig, das Hippodrom fliegend zu übersetzen. Angetan mit einer sehr langen und sehr weiten Robe, deren Bräme mittels Weidenruten versteift waren, stürzte er sich von der Spitze des Turmes des Hippodromes herab und zer-

---

[1]) Bescherelle, Histoire des ballons, 1852.

[2]) Abbé Sicard, Dictionnaire de l'Histoire Sainte.

Digitized by Google

schellte sich die Knochen am Boden [1]). Dies geschah unter der Regierung des Kaisers Commenius um das Jahr 1178.

Wenn man den gleichzeitigen Chroniken Glauben schenken will, ist es dem Mathematiker Dante von Perugia um das Jahr 1500 gelungen, einen Apparat zu bauen, mit dem er sich längere Zeit in der Luft zu halten vermochte. Er experimentierte mit seiner Flugvorrichtung über dem Trasimenischen See. Zur Vermählung des berühmten Generals Alviano lud er seine Mitbürger ein, einem Flugversuche beizuwohnen. Er flog von der Spitze des höchsten Turmes der Stadt ab, segelte hoch über dem Hauptplatze unter dem Beifall einer ungeheueren Zuschauermenge dahin. „Plötzlich brach aber das Eisen, mit welchem er einen seiner Flügel dirigierte. Dante fiel auf das Dach der Kirche von St. Maurius und brach sich ein Bein.“ [2]) Nach diesem unglücklichen Versuch soll Dante seine Experimente nicht fortgesetzt haben.

Alle bisher erwähnten Berichte von Versuchen mit Gleit-, beziehungsweise Segelfliegern dürften gewiß ein Körnchen Wahrheit in sich bergen, allein es ist wohl kaum möglich, dieses unter der Spreu der poetischen Ausschmückung herauszufinden. Wir werden bloß als sicher annehmen dürfen, daß schon in den ältesten Zeiten einzelne Menschen, offenbar angeregt durch den Segelflug der Vögel, den Versuch machten, diese Flugart mittels künstlicher Flügelapparate nachzuahmen. Infolge des Mangels der zureichenden Stabilisierung der Segelapparate mußten natürlich die Versuche meist mit einem Sturze des Fliegers enden. Es scheint auch nicht ausgeschlossen, daß bei einzelnen Versuchen ein teilweiser Erfolg erzielt wurde. Die überlieferten Berichte sind aber, wie gesagt, viel zu wenig detailliert, um dies beurteilen zu können. Vom fünfzehnten bis zur zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhundertes hören wir von keinem Segelflugversuche. Wir treten damit gleichzeitig von dem mehr oder minder sagenhaften auf historischen Boden über.

Historisch beglaubigte Versuche mit Segel- und Gleitfliegern. In den Jahren 1857 bis 1867 führte der ehemalige französische Kapitän Le Bris zahlreiche Versuche mit mehreren Segelfliegern aus, die zum Teil recht gut gelangen. Le Bris war ein alter Seebär, der viel in den tropischen Meeren herumgekommen war und der dabei reichlich Gelegenheit hatte, den wunderbaren Segelflug der großen Meeresflieger, insbesondere des über vier Meter klafternden Albatros zu beobachten. Auf Grund seiner Naturstudien erbaute er einen großen Segelflieger, der aus einem kanoeförmigen Rumpf von nahe 4 Meter Länge und über ein Meter Breite bestand, an den seitlich zwei lange und schmale Flügel befestigt waren. Die Flügelspannweite wird mit 15 Meter angegeben, die Segelfläche soll nahe 20 Quadratmeter betragen haben. Der Apparat wog 42 Kilogramm. Le Bris bemühte sich, seinen Segelflieger so genau als möglich nach den Dimensions- und Gewichtsverhältnissen des Albatros zu bauen. Der Vorderrand der Flügel war aus einer biegsamen Holzstange, an jenem wurden Querstäbe befestigt und mit Stoff überzogen. Mittels zweier Hebel konnte

---

[1]) Cousin, Histoire de Constantinople.
[2]) Abbé Mongez, Essai sur l'art du vol aérien, Lyon 1773.

Digitized by Google

die Vorderseite der Flügel unter verschiedenen Winkeln eingestellt werden. An der Rückseite war ein Schweif so angebracht, daß er auf- und abwärts bewegt werden konnte. Der Führer stand aufrecht in der Gondel, die Hände an den Flügelhebeln und die Füße an einem Pedal für die Regulierung der Schwanzbewegung. Le Bris beabsichtigte, bei starkem Winde aufzusteigen und die Manöver des Albatros nachzuahmen. Der Apparat wurde an einen Wagen, der durch ein Pferd rasch gegen den Wind vorwärts bewegt wurde, gehängt. Der Apparat soll sich dabei vom Wagen abgehoben haben; das Halteseil schlang sich um den Kutscher und riß auch diesen mit in die Höhe. Der Apparat segelte etwa 100 Meter hoch, als Le Bris erst auf den Unfall aufmerksam wurde. Er ging herunter und landete den Bauernwagen ohne jeden Stoß. Bei der Landung wurde ein Flügel gebrochen. Bei einem späteren Versuche brach sich Le Bris ein Bein. Im Jahre 1867 baute Le Bris einen neuen Albatros-Apparat, der ein wenig kleiner war als der erste. Er konstruierte sich auch eine besondere Abflugvorrichtung. Diese bestand aus einem hohen Mast mit einem horizontalen Querholz an der Spitze. Von dem Querholz hing ein Seil herab, an dem der Apparat befestigt wurde. Le Bris ließ nun seinen Segler in der Richtung gegen den Wind in Schwingungen versetzen; wenn er die richtige Balance erlangt hatte, löste er durch Drücken auf einen Hebel die Verbindung mit dem Seil und der freie Segelflug begann. Der Apparat wurde zunächst mit Ballast ausprobiert. Bei einem Versuche, den Le Bris selbst ausführte, ging der Apparat infolge des Mangels an longitudinaler Stabilität in Trümmer. Le Bris kleidete seinen Bericht über seine Versuche in die Form einer Novelle, um ihn interessanter zu machen. Die Angaben über die Details der Experimente sollen jedoch vollkommen korrekt den Tatsachen entsprechend sein. Wenn dies wirklich der Fall ist, müßte man die Leistungen Le Bris' jedenfalls recht hoch einschätzen. Einen Einfluß auf die Entwicklung der Flugtechnik konnten aber die Arbeiten Le Bris' nicht nehmen, da dieser weder die Details der Konstruktion seiner Apparate bekannt machte, noch auch seine Erfahrungen in solcher Form publizierte, daß man diese bei der Fortführung seiner Studien sich hätte zunutze machen können.

Auf Grund von langjährigen sorgfältigen Studien des Vogelfluges, insbesondere des Fluges der Segelvögel, projektierte der Franzose D'Esterno 1864 einen Segelflieger, der sehr bemerkenswert ist wegen der sorgfältigen Detailkonstruktion. Die Tragfläche sollte vogelflügelartige Form haben mit steifem Vorder- und biegsamem Hinterrand. Die zwei Flügel von je $4^1/_2$ Meter Länge und ein wenig über 2 Meter Breite konnten in einem beliebigen Winkel zur Horizontalen eingestellt werden. Die vordere Versteifungsstange der Flügel war mit Zapfen versehen, die in Pfannen gelagert waren, so daß der Hinterrand der Flügel gehoben und gesenkt werden konnte, wodurch eine Änderung des Einfallswinkels möglich wurde. Die Flügel konnten weiters auch noch nach vorn oder hinten in ihrer Ebene verstellt werden. Der Flieger saß in einem schiffchenförmigen Rumpf auf einem beweglichen Sitz, der leicht nach vorwärts und rückwärts und auch nach den Seiten verschoben werden konnte, behufs Ausbalancierung.

Digitized by Google

Samt einem Mann sollte der Apparat 149 Kilogramm wiegen. Als Tragfläche waren 31 Quadratmeter in Anschlag gebracht, davon entfielen über 10 $^1/_2$ Meter auf den ungewöhnlich großen Schwanz; dieser war durch ein Universalgelenk mit dem Körper des Apparates verbunden und konnte ebenso wie die Flügel drei Bewegungen ausführen, auf und ab in seiner Ebene nach rechts und links und seitliche Verdrehungen. D'Esterno schlug vor, die ersten Versuche über Wasser anzustellen. Der projektierte Apparat wurde nicht ausgeführt. Seine Studien über den Vogelflug veröffentlichte D'Esterno in dem geschätzten Buche „Du vol des oiseaux" 1854.

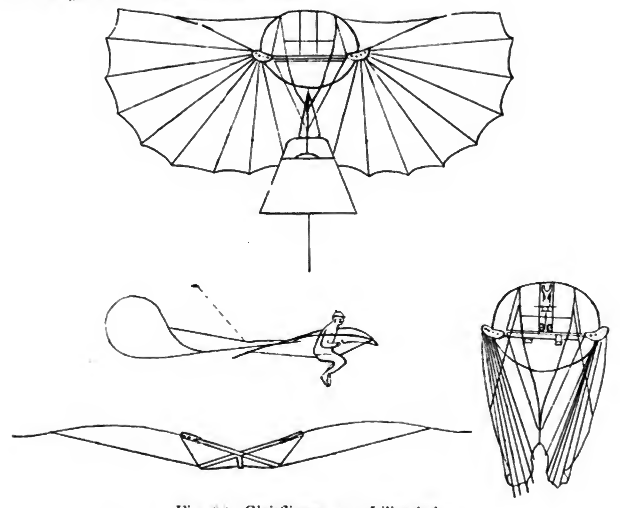


Fig. 90. Gleitflieger von Lilienthal.
1. Ansicht von oben, 2. von der Seite, 3. von vorne, 4. Flügel zusammengefaltet.

Moderne Gleit- und Segelflugstudien. Im Jahre 1881 publizierte der Franzose Mouillard sein Buch „L'Empire de l'air", in dem er die Ergebnisse seiner mehr als 30 jährigen Studien über den Vogelflug niederlegte. Mouillard hatte an seinem Wohnorte in Algerien und später in Ägypten reichlich Gelegenheit, die Flugkünste der großen Segler der Lüfte, der Geier und Adler, sowie auch der Meeressegler, des Albatros und des Fregattvogels, nicht nur zu bewundern, sondern auch zu studieren. Er machte die Erfahrung, daß die Adler und Geier bei Winden von 15 bis 40 Kilometern segeln, daß sie aber Schutz suchen, wenn der Wind noch stärker wird. Die Seevögel mit

Digitized by Google

langen und schmalen Flügeln, der Fregattvogel und der Albatros fliegen aber selbst in den stärksten Stürmen von 80 Kilometern und darüber. Mouillard kommt zu dem Schlusse, daß der Mensch, wenn es ihm gelingen würde, die Manöver der Segelvögel nachzuahmen, die mäßigen Winde ausnützen und Geschwindigkeiten von 40 bis 60 Meilen erreichen könnte. Als besten Typ für die Nachahmung des Segelfluges bezeichnet Mouillard den Gyps fulvus. Dieser wiegt $7^1/_2$ Kilogramm und hat eine Flügelfläche von $^1/_2$ Quadratmeter. Mouillard baute vier Segelflieger und experimentierte mit diesen. Der dritte Apparat bestand aus zwei dünnen versteiften Brettchen, an denen strahlenförmig Rippen von Agavenholz befestigt waren. Über diese Rippen war der Stoff gespannt. Es entstand so eine Segelfläche, welche nahezu die Form ausgespannter Adlerflügel hatte. Der Flieger stand in einem Ausschnitt aufrecht im Apparate, die Tragfläche befand sich

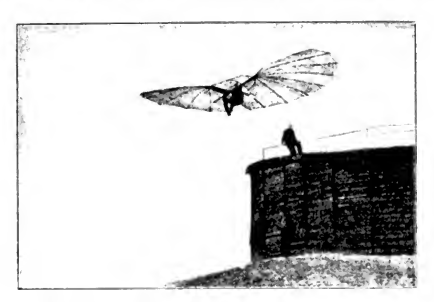


Fig. 91. Gleitflugversuche von Otto Lilienthal.
Erste Type von 1891. Absprung von dem ebenen Dache eines Schuppens in Steglitz.

ungefähr in der Höhe der Magengrube. Die Arme waren ausgespannt und mit den Händen faßte der Segler starke Schnüre. Das Gewicht des Apparates betrug fast 15 Kilogramm. Die Größe der Segelfläche wird nicht angegeben. Mouillard führte seine ersten Versuche auf einer einsamen Farm in Algerien aus. Um sich nicht lächerlich zu machen, mußte er zunächst immer alle Hausgenossen fortschicken, ehe er seinen Segelflieger aus seinem Versteck hervorholte. Er sprang mit dem Apparat auf den Schultern zunächst aus ganz geringen Höhen herab, um sich mit der Lenkung vertraut zu machen. Später wagte er sich auch in den Wind hinaus. Mouillard beschreibt einige seiner Erlebnisse mit seiner Maschine im Winde. Einmal wollte er sich über einen breiten Graben schwingen. Da hob ihn ein Windstoß 9 bis 10 Meter hoch und trug ihn gegen 40 Meter weit zurück. Flügelbruch beim Landen. Mouillard findet nicht genug Worte der Bewunderung für den herrlichen Segelflug der Vögel und betont immer wieder mit allem Nachdruck, daß der Segelflug ohne jeden sichtbaren Aufwand an

Digitized by Google

Flugarbeit ausgeführt werde und einzig und allein die Energie des Windes den erforderlichen Auftrieb liefert. — „Ich halte daran fest, daß beim Segelflug der Aufstieg lediglich durch die geschickte Ausnützung der Kraft des Windes erfolgt und die Steuerung in jeder Richtung das Ergebnis von geschickten Manövern ist, so daß bei mäßigem Wind ein Mann, mit einem Aeroplan (Segelapparat) ausgerüstet, ohne jede motorische Kraft sich in die Luft erheben und sich in ihr bewegen kann, nach Belieben, selbst gegen den Wind.“

So interessant die Studien Mouillards auch sind, einen Einfluß auf die Entwicklung der Flugtechnik haben sie ebensowenig genommen, wie die Arbeiten von Le Bris. Es blieb eben bei vereinzelnten Experimenten. Eine Fortentwicklung der von den einzelnen Experimentatoren gefundenen Erfahrungen trat nicht ein. Erst dem deutschen Flugforscher



Fig. 92. Gleitflugversuche Lilienthals.
Apparat von vorne gesehen.

Otto Lilienthal gelang es im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts, die Gleit- und Segelflugstudien auf eine entwicklungsfähige Basis zu stellen. Lilienthal hat deshalb auf die Fortentwicklung der Flugtechnik einen so großen Einfluß genommen, weil es ihm gelang, die Ergebnisse seiner Arbeiten in mitteilbare Form zu bringen und er imstande war, seine Erfahrungen seinen Nachfolgern zu übermitteln. Lilienthal ist deshalb bisher der einzige Flugtechniker, der eine Schule begründet hat. In seinem Vaterlande hat Lilienthal bisher leider keinen Schüler gefunden, wohl aber im Auslande. In England: Pilcher; Amerika: Chanute, Herring, W. und O. Wright; Österreich: Dr. Nimführ; Frankreich: Ferber. In den letzten Jahren nahm die Schule Lilienthal namentlich in Frankreich einen sehr großen Aufschwung. Von den österreichischen Flugtechnikern fußt auch Wels auf Lilienthal. Wegen der großen Bedeutung, die die Schule Lilienthal für die Entwicklung der Flugtechnik genommen hat, schien es zweckmäßig, die Arbeiten der einzelnen Forscher in separaten Abschnitten zu behandeln.

Digitized by Google

Die Gleitflugstudien von Otto Lilienthal. Mit Lilienthal beginnt eine neue Ära in der Entwicklung des persönlichen Kunstfluges. Während die Arbeiten der flugtechnischen Erfinder vor Lilienthal den Charakter des ziel- und planlosen Herumprobierens trugen, arbeitete er in echt wissenschaftlichem Geiste an der Weiterentwickelung des Problems des persönlichen Kunstfluges. Er führte zunächst jahrzehntelang zahlreiche und genaue Messungen über den Luftwiderstand gegen ebene und verschieden gewölbte Flächen aus. Die Ergebnisse dieser Messungen und Studien sind in dem schon zitierten Buche „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst" niedergelegt. In diesem Werke wurden zum ersten Male die wesentlichen Prinzipien des persönlichen Kunstfluges deutlich und klar dargelegt. Am Schlusse seiner Arbeit stellt der Autor 30 Sätze auf für die Konstruktion von Apparaten für den persönlichen Kunstflug und die Anstellung von praktischen Ver-

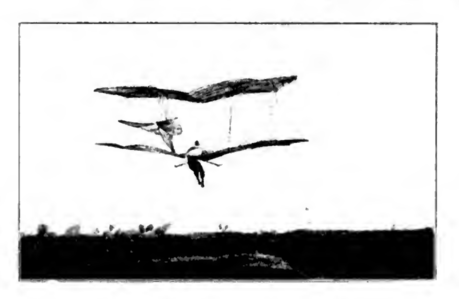


Fig. 93. Gleitflugversuche von Lilienthal.
Zweite Type mit zwei senkrecht übereinanderliegenden Flächen (Doppeldecker, Duplex).

suchen mit derartigen Maschinen; die Mehrzahl dieser Grundsätze besitzt auch heute noch volle Gültigkeit.

Im Jahre 1890 ging Lilienthal an die Ausführung von praktischen Gleitversuchen. Er konstruierte in den folgenden Jahren eine Reihe von Gleitmaschinen verschiedener Größe und experimentierte sehr fleißig mit ihnen. Die Ergebnisse seiner Versuche legte er von Zeit zu Zeit in sehr anregend geschriebenen Aufsätzen nieder, die größtenteils in der Berliner Wochenschrift „Prometheus" und in der früheren „Zeitschrift für Luftschiffahrt" erschienen sind. Lilienthals erste Gleitmaschine hatte bloß eine Tragfläche ungefähr in der Form von ausgespannten Fledermausflügeln. Er läßt sich auch ähnlich wie diese zusammenlegen, um leichter aufbewahrt und transportiert werden zu können. Das Gerüst war aus Weidenruten hergestellt; als Überzug wurde Schirting verwendet. Die Gesamtfläche des Apparates, mit dem Lilienthal 1893 experimentierte, betrug 14 Quadratmeter, das Gewicht dieser Gleitmaschine war 20 Kilogramm.

Digitized by Google

Lilienthal ging anfänglich bei seinen Gleitversuchen, wie er selbst sagt, „sehr vorsichtig“ zu Werke. Er errichtete sich zunächst in seinem Garten auf einem größeren Rasenplatz ein Sprungbrett von nur ein Meter Höhe, von dem aus er mit dem Gleitapparate absprang. Nachdem er diese kurzen Luftsprünge hundertfältig geübt hatte, erhöhte er sein Sprungbrett nach und nach bis auf $2^1/_2$ Meter, von wo er dann schon sicher und gefahrlos über den ganzen Rasenplatz dahinschweben konnte. Erst nachdem er sich auf diese Weise genügende Fertigkeit in der Handhabung seines Gleitapparates erworben hatte, wagte er auch Abflüge aus erheblich größeren Höhen. Er ließ sich dann auf der Maihöhe bei Steglitz einen turmartigen Schuppen errichten, von dessen flachem Dach aus die Gleitflüge eingeleitet wurden.



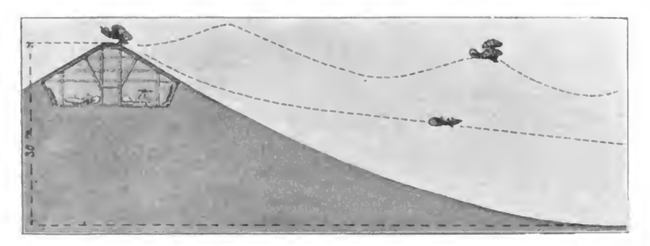


Fig. 94. Schema der Gleitflüge Lilienthals.
Abflüge erfolgten von der Spitze eines 15 Meter hohen Hügels.

Der Abflug erfolgte natürlich immer in der Richtung gegen den Wind. Die Arme wurden beiderseits zwischen zwei am Gestell befindliche Polster gelegt und mit den Händen eine Querstange ergriffen. Der ganze übrige Körper blieb frei beweglich. Auf diese Weise wurde eine sichere und sehr rasch lösbare Verbindung zwischen dem Flieger und dem Apparate hergestellt. Durch Ausstrecken der Beine nach rechts und links oder nach vorn und rückwärts parierte Lilienthal die Störungen des longitudinalen und transversalen Gleichgewichtes, welche durch das wellenförmige Anschwellen und Abflauen bewirkt wurden.

Im Jahre 1894 ließ Lilienthal bei Groß-Lichterfelde in der Nähe von Berlin einen 15 Meter hohen Hügel aufschütten, von dessen Spitze aus er die Gleitflüge unternahm. Im folgenden Jahre ging er zu einer neuen Type über. Diese bestand aus zwei übereinander gestellten

Digitized by Google

Tragflächen von je $5^1/_2$ Meter Spannweite und 9 Quadratmeter Inhalt. Die obere Fläche lag um etwa $^3/_4$ der Flügelbreite über der unteren. Die mit der doppelten Segelfläche erzielten Gleitflüge zeichneten sich alle durch ihre große Höhe aus. Das Landen mit diesem Apparate erfolgte genau so wie bei der einfachen Segelfläche durch Verlangsamung der Geschwindigkeit. Durch Zurücklegen des Körpers wurde zunächst der Apparat hinten mehr belastet und dadurch vorn aufgerichtet. Zum Schlusse wurden die Beine wie beim Sprunge nach vorn gestreckt.



Fig. 95 A. Motorgleitflieger von Lilienthal.
An die Trag- oder Segelfläche des Gleitapparates seitlich in Charnieren bewegliche Schwingen angesetzt, welche den Vortrieb erhöhen. Antrieb der Propeller erfolgt durch einen mit komprimierter Kohlensäure gespeisten Kolbenmotor. Aus „Prometheus."

Die energische Wirkung der Schwerpunktsverschiebung und die dadurch erreichte sichere Einstellbarkeit des Apparates gaben Lilienthal den Mut, auch noch bei Winden über 10 Meter Geschwindigkeit Gleitflüge auszuführen. Schon bei 6 bis 7 Meter Windgeschwindigkeit trug ihn die 18 Quadratmeter große Segelfläche fast horizontal von der Spitze seines Hügels ohne Anlauf gegen den Wind. Bei größerer Windstärke ließ sich Lilienthal von der Bergspitze einfach abheben und segelte langsam dem Wind entgegen. Er erreichte dabei oft in der Luft Stellungen, welche wesentlich höher lagen als sein Abflugspunkt. Am Gipfelpunkte einer solchen wellenförmigen Fluglinie kam der Apparat zuweilen längere Zeit zum Stillstand.

Digitized by Google

Um die Weite der Gleitflüge noch mehr ausdehnen zu können, verlegte Lilienthal im Jahre 1896 seine Experimente wieder nach den Rhinower Bergen zwischen Rathenow und Neustadt, wo er schon im Jahre 1893 mit dem einflächigen Apparate längere Zeit mit Erfolg zahlreiche Gleitflüge ausgeführt hatte. Von den Kuppen der Rhinower Berge, welche bis zu 80 Meter ansteigen, führte Lilienthal Flüge bis zu 250 Meter Weite aus.

In dieser einsamen Hügellandschaft ereignete sich am 12. August 1896 jene traurige Katastrophe, die den frühzeitigen Tod dieses genia-



Fig. 95 B. Motorgleitflieger von Lilienthal.
Zusammengelegt zum Transport. Aus „Prometheus".

len und kühnen Mannes zur Folge hatte. Wie der Unfall sich ereignete, darüber ist nichts Näheres bekannt. Der einzige Augenzeuge des tragischen Geschehnisses, Lilienthals langjähriger Gehilfe, wußte mir nichts weiter anzugeben, als daß der Apparat plötzlich in der Luft gekippt sei und samt seinem Führer zu Boden stürzte. Ob der Verlust des Gleichgewichtes infolge eines plötzlichen Windstoßes, den Lilienthal nicht zu parieren vermochte, oder die Loslösung der oberen Tragfläche oder sonst ein Gebrechen am Apparate die Ursache des Unfalles gewesen, darüber lassen sich, wie gesagt, nur vage Vermutungen aussprechen.

Lilienthal schildert die Empfindungen und Eindrücke bei seinen Gleitflügen in den herrlichsten Farben. „Es wird schwer sein, demjenigen, welcher derartige Gleitflüge nie versucht hat, eine richtige

Digitized by Google

Vorstellung von den Reizen dieser schwungvollen Bewegung zu verschaffen. Die Tiefe, über welche man dahinschwebt, verliert ihre Schrecken, wenn man aus Erfahrung weiß, wie sicher man auf die Tragfähigkeit der Luft sich verlassen kann. Die ganz allmähliche Steigerung dieser luftigen Sprünge führt zu einer Gewöhnung an den Blick aus der Höhe auf die unten liegende Landschaft. Das unbehagliche Gefühl, welches den Kletterer beschleicht, welcher auf schmalem Gletschergrat seinen Fuß in schlüpfrige Eisstufen setzt oder hoch über dem gähnenden Abgrund sich auf das tragende Geröll verlassen muß, wird häufig den Genuß der prächtigen Aussicht schmälern;

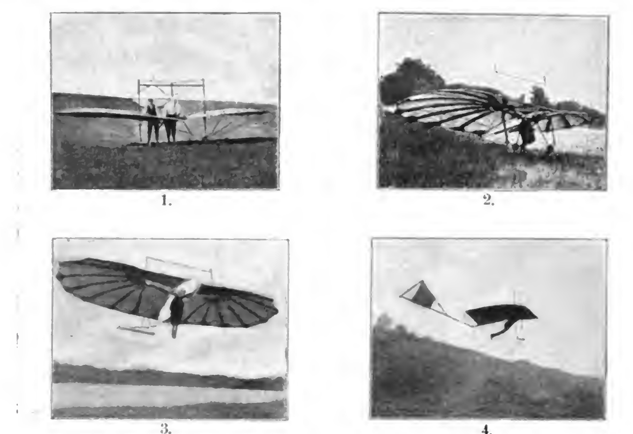


Fig. 96 (1—4). Gleitflugversuche von Sinclair Pilcher.

1. Apparat am Boden stehend von vorne, 2. Apparat schräg von der Seite, 3. in der Luft gleitend, schräg von unten, 4. von der Seite mit gut sichtbarem Schwanzkeilsteuer zur Stabilisierung in der Längsachse.

denn man weiß sich von Zufällen umlauert, deren jeder das Entsetzliche herbeiführen kann. Diese, das Gefühl des Schwindels erzeugende Beklemmung hat nichts gemein mit den Empfindungen des auf die Luft allein sich stützenden Fliegers. Hier zeigt sich die Luft selbst als tragendes Prinzip, indem sie uns nicht nur vom Abgrund trennt, sondern uns auch über demselben schwebend erhält. Wenn man auf breiten Fittichen ruhend, von nichts als von der Luft berührt, durch nichts als durch den Wind dahingleitet, der, auch dem leisesten Drucke gehorchend, unserem Willen sich fügt, so läßt das Gefühl der Sicherheit die Gefahr sehr bald vergessen. ... Aber eine solche schwungvolle Bewegung belohnt auch die zur Erlangung der Fertigkeit auf-

Digitized by Google

gewendete Mühe, wie es denn überhaupt ein unbeschreibliches Vergnügen ist, hoch in den Lüften über den sonnigen Bergabhängen sich zu wiegen, ohne Stoß, ohne Geräusch, nur von einer leisen Äolsharfenmusik begleitet, welche der Luftzug den Spanndrähten des Apparates entlockt.“ (Lilienthal, „Prometheus“ 1893, p. 184 u. ff.)

Lilienthal hat schon erkannt, daß die Lösung des Flugproblems keine Erfindung im landläufigen Sinne darstellt, daß an die praktische Realisierung des ballonfreien Fluges mit Erfolg nicht herangetreten werden kann, solange nicht die theoretischen Grundlagen sichergelegt sind. Lilienthal war nicht bloß Erfinder, sondern Flugforscher. Ein zweites nicht minder großes Verdienst Lilienthals liegt darin, daß er eine Methode ausgearbeitet hat für die rationelle Durchführung von flugtechnischen Versuchen. Er hat das Problem des ballonfreien Fluges,

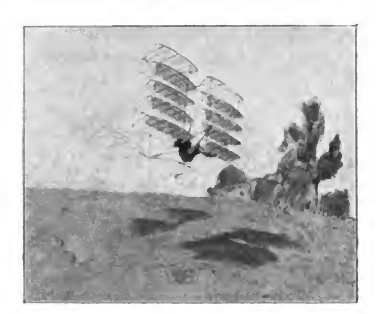


Fig. 97. Gleitflugversuche von Octave Chanute.
Erste Type mit sechs Flächenpaaren.

statt es mit einem Schlage lösen zu wollen, in eine Reihe von Detailprobleme zerlegt. Lilienthals Experimente erstreckten sich vornehmlich nach zwei Richtungen: Einerseits war er bemüht, seine Erfolge im Durchsegeln der Luft mit unbeweglichen Apparaten dahin auszudehnen, daß er die Ausnützung immer stärkerer Winde einübte, um dadurch womöglich in den dauernden Schwebeflug hineinzukommen; andererseits suchte er den dynamischen Flug durch Flügelschläge zu erreichen, die als einfache Zutat zu seinen Schwebeflügen eingeführt wurden.

Auch einen zum Ruderflug eingerichteten Apparat hat Lilienthal praktisch erprobt. Die Entfernung der Flügelspitzen betrug 8 Meter. Die Flügelschläge wurden durch eine Schwungfeder-Konstruktion nach Art jener der großen Raubvögel ausgeführt. Sechs lange, schmale schwungfederartige Lamellen sind mit geringem Zwischenraum hintereinander und in derselben Ebene in einen rechteckigen Rahmen eingesetzt. Die so entstehende Schwinge wird an die abgestutzten Flügel-

Digitized by Google

spitzen der Gleitmaschine angesetzt und kann, in Scharnieren drehbar, eine oszillierende Auf- und Abbewegung ausführen um eine zur Flugrichtung parallele Achse. Der Apparat stellt eine Realisierung der schon in dem Werke „Der Vogelflug usw.“ aufgestellten Grundsätze für die Konstruktion von Flugapparaten dar. Die Flügelschläge wurden durch einen Kolbenmotor bewirkt, der im Wesen aus zwei langen, einfach wirkenden Zylindern bestand. Die Kolbenstangen waren mit Zugschnüren in Verbindung, welche bei der Bewegung des Kolbens den Niederschlag der Schwingen erzeugten. Der Hub erfolgte automatisch durch den Druck der Luft gegen die Unterseite der Schwingen. Durch Gummikordeln, die über Stege liefen, wurde das Gewicht der Schwingen ausbalanciert, so daß sie im Ruhezustande horizontal lagen. Zur Speisung des Motors diente komprimierte Kohlensäure. Diese war in einem eisernen Behälter untergebracht, der 3 Kilogramm Kohlensäure faßte. Der Apparat wog komplett 40 Kilogramm. Er sollte bloß einen Versuchsapparat darstellen; längere Flüge wären mit ihm wegen der bloß ein paar Minuten währenden Funktionsdauer des Motors natürlich nicht möglich gewesen. Dies war vorerst auch gar nicht beabsichtigt. Erst nachdem er mit diesem größeren und schwereren Apparate zunächst gewöhnliche Segelflüge ausgeführt hatte, um dadurch die gefahrlose Landung mit Sicherheit einzuüben, ging Lilienthal daran, mit den Flügelschlägen beim freien Fluge vorsichtig zu beginnen. Lilienthals Motorflieger läßt sich in keine der aufgestellten Grundtypen von ballonfreien Flugapparaten einreihen. Er ist weder ein reiner Schwingenflieger noch auch ein typischer Drachenflieger. Der Schwingenflieger darf keine passiven Flächen haben, sondern die ganze Tragfläche muß eine schwingende Bewegung besitzen, beim reinen Drachenflieger muß der Propeller imstande sein, auch in windstiller Luft dem Apparat die Schwebegeschwindigkeit zu erteilen. Der Motorflieger Lilienthals war auf die Beihilfe des Windes angewiesen, in windstiller Luft wäre der Apparat nicht flugfähig gewesen wegen der zu geringen Wirkung der Schwingenpropeller. Da die Ausführung des Segelfluges die Hauptsache war und der Propeller nur als Beihilfe dienen sollte, wollen wir Apparate dieser Art als Motor-Segelflieger bezeichnen.

Im folgenden sind die wichtigsten Publikationen Lilienthals zusammengestellt. Dazu gehören außer seinem wiederholt zitierten Hauptwerke:

Über Theorie und Praxis des freien Fluges, „Zeitschrift für Luftschiffahrt etc.,“ 1891. Über meine diesjährigen Flugversuche, „Z. f. L.,“ 1891. Über den Segelflug und seine Nachahmung, „Z. f. L.,“ 1892. Zur Flugfrage, „Prometheus,“ Berlin 1893. Praktische Erfahrungen beim Segelfluge, ibd. 1893. Die Tragfähigkeit gewölbter Flächen beim praktischen Segelfluge, „Z. f. L.,“ 1894. Allgemeine Gesichtspunkte bei der Herstellung und Anwendung von Flugapparaten, „Z. f. L.,“ 1894. Weshalb ist es so schwierig, das Fliegen zu erfinden? „Prometheus“, 1894. Fliegesport und Fliegepraxis, ibd. 1895. Practical experiments for development of human flight the Aeronautical Annual, Boston 1896. Die beste Flügelform, „Z. f. L.,“ 1896. Praktische Erfahrungen beim Segelfluge, id. 1893. Unsere Lehrmeister im Schwebefluge, id. 1895.

Digitized by Google

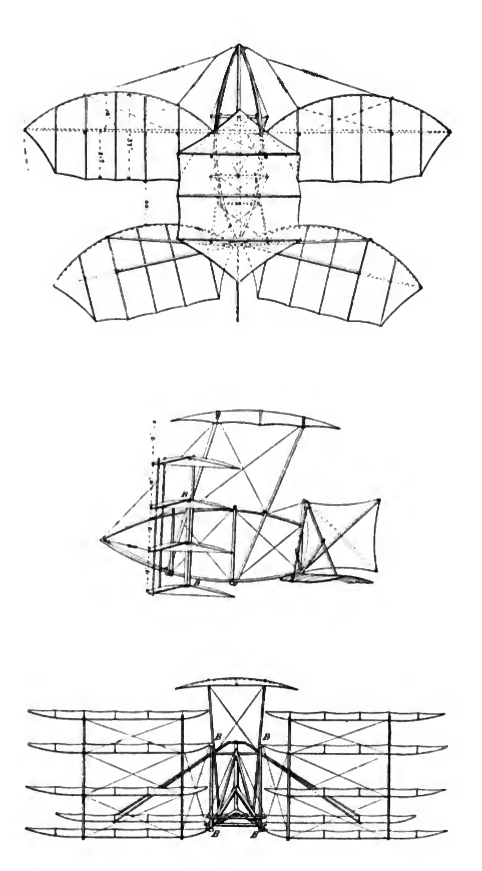


Fig. 98. Gleitflugversuche von Chanute.
Pläne des Apparates der zweiten Type mit fünf Flächenpaaren.

Digitized by Google

Die Schule Lilienthal.

Der Todessturz Lilienthals schreckte zweifellos viele ab, auf der von ihm geschaffenen Basis weiter zu arbeiten. Nur ein unmittelbarer Schüler Lilienthals, der Engländer P. S. Pilcher, ließ sich durch das tragische Geschick seines Meisters nicht beirren, auf der von ihm gewiesenen Bahn mutig weiter zu schreiten. Im Jahre 1895 begann er mit einem Gleitapparate zu experimentieren, dessen beide Flügelflächen einen ziemlich spitzen Winkel miteinander einschlossen. Der Apparat hatte eine Tragfläche von 14 Quadratmeter und wog 23 Kilogramm. Pilcher fand, daß die Stellung der Flügelflächen in scharfem Winkel zueinander nicht zweckmäßig ist, da bei seitlichen Windstößen die Stabilität stark gestört wird. Pilcher ging deshalb auf die Lilienthalsche Form der Tragfläche über.

Er erreichte Schwebeflüge von 15 bis 120 Meter Länge bei Abflughöhen von 2 bis 6 Meter. Infolge wiederholten Flügelbruches baute er die nächste Type stärker; sie hatte 16 Quadratmeter Fläche und ein Gewicht von etwas über 36 Kilogramm. Der Apparat ließ sich aber nur schwer regieren. Auch fand Pilcher, daß es unzweckmäßig ist, das Gewicht des Fliegers tief unter die Tragflächen zu verlegen. Die Stabilisierung wird dadurch wesentlich erschwert.

Mit einem dritten, etwas leichteren Apparate führte Pilcher im folgenden Jahre zahlreiche gute Gleitflüge aus. An senkrechten Stützen waren kleine Räder angebracht; sie dienten dazu, den Apparat auf der Erde zu schieben und Stöße bei der Landung abzufangen.

Bei schwachen Winden band er den Apparat an eine Schnur, in welche ein Flaschenzug mit fünffacher Übersetzung eingeschaltet war. Das Ende der Schnur ließ er durch ein trabendes Pferd oder laufende Jungen rasch vorwärts ziehen. Der Apparat stieg dadurch wie ein Drache hoch. Nach Erreichung der gewünschten Höhe wurde die Schnur abgeschnitten und der Gleitflug begann. Pilcher fand, daß ein Zug von rund 14 Kilogramm hinreichte, um dem Apparat die Schwebegeschwindigkeit von 11 Meter per Sekunde zu erteilen. Der dazu erforderliche Arbeitsaufwand betrug demnach rund 2 Pferdekräfte. Um vom Gleitflug zum Motorflug überzugehen, konstruierte Pilcher später einen Motorflieger, dessen Antrieb durch einen von ihm gebauten leichten Benzinmotor von 4 Pferdekräften bewirkt werden sollte. Noch ehe er aber dazu kam, diesen Motorapparat zu versuchen, teilte er leider das Schicksal seines Meisters. Im Jahre 1899 brach während einer Vorführung vor der englischen aeronautischen Gesellschaft eine Flügelversteifung, der Apparat knickte in der Luft zusammen und Pilcher stürzte aus einer Höhe von etwa 10 Meter herab, wobei er sich tödlich verletzte.

Pilcher hat die Ergebnisse seiner Arbeiten publiziert in: „The practical Engineer,“ Manchester, 6. Dezember 1895; „Nature“, London, 20. Februar 1896; 12. August 1897; „Aeronautical Annual“ 1897, Boston; „Aeronautical Journal“, London, 1897 Nr. 2, Nr. 4, 1898, 1899.

In Amerika wurden die Gleitflugversuche in selbständiger und origineller Weise fortgeführt durch O. Chanute. Dieser ließ eine Reihe von Gleitmaschinen bauen, mit denen von seinen Assistenten

Digitized by Google

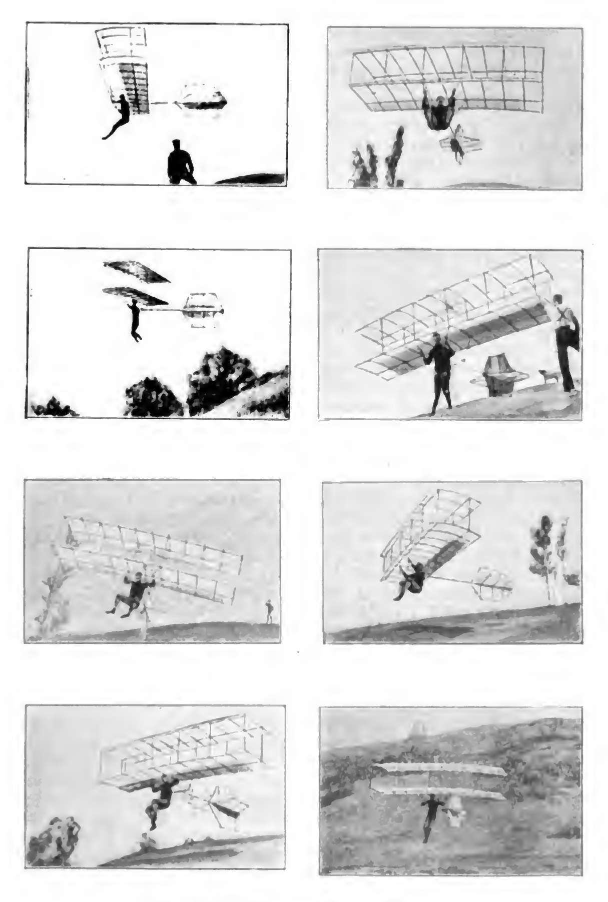


Fig. 99. Gleitflugversuche von Chanute.
Verschiedene Phasen eines Gleitfluges mit der Doppeldeck-(Duplex-)Type.

Digitized by Google

zahlreiche gelungene Gleitflüge ausgeführt wurden. Schon vor dem Unfalle Lilienthals wurde eine von A. M. Herring nach dessen Einflächentype gebaute Gleitmaschine erprobt. Nach etwa 100 Gleitflügen gab man das Experimentieren mit diesem Apparat auf, da es zu riskant schien. Es zeigte sich nämlich, daß die Stabilisierung des Apparates Bewegungen bis zu 13 Zentimeter von seiten des Fliegenden erforderte. Als Assistent Chanutes experimentierte Herring im Jahre 1896 mit vier Gleitmaschinen von vier verschiedenen Typen.

Chanute war zur Überzeugung gelangt, daß die Lösung der Gleichgewichtsfrage der wichtigste Schritt auf dem Wege zur Herstellung eines ballonfreien Fliegers sei. Er kam auf den Gedanken, daß die Stabilisierung vielleicht auf automatischem Wege erzielt werden könnte, wenn man an Stelle der Verschiebung des Körperschwerpunktes des Fliegers die Tragflächen beweglich mache. Nach diesem Prinzip wurde zunächst eine mit 6 Paaren von Flügeln versehene Gleitmaschine konstruiert. Um das Anstreifen am Boden bei der Landung zu verhindern, wurde später ein Paar weggelassen. Der Apparat bestand schließlich aus 5 Paaren Flügeln. 4 Paare waren auf einem brückenartigen Gestell senkrecht übereinander angebracht in Abständen voneinander, welche ungefähr der halben Flächenlänge entsprachen. Das fünfte Flächenpaar war an die Rückseite des Apparates verlegt und erfüllte die Funktion eines horizontalen Steuers. Über dem Führerstande befand sich noch eine einfache Tragfläche in der Form eines Sechseckes. Die Flügel waren nicht vollkommen fix mit dem Traggerüste verbunden, sondern in Angel drehbar und durch Einschaltung von Spiralfedern um eine gewisse Strecke in horizontaler Richtung verschiebbar. Infolge dieser Anordnung wurden die nötigen Bewegungen des Fliegers zur Erhaltung des Gleichgewichtes auf 4 Zentimeter herabgedrückt. Der Gleitwinkel betrug im Mittel 12 Grad. Nach etwa 300 Gleitflügeln war eine so beträchtliche Deformation der Tragflächen eingetreten, daß die Versuche mit einer neuen umkonstruierten Maschine fortgesetzt wurden. Diese bestand bloß aus zwei Tragflächen und ergab noch bessere Resultate. Das Traggestell war eine rechtwinkelige hölzerne Brückenkonstruktion, die durch stählerne Spanndrähte in der Längs- und Querrichtung versteift war. Die Tragflächen waren auf der Unterseite leicht gewölbt. Das Krümmungsmaß war dasselbe wie bei den Gleitmaschinen Lilienthals, nämlich $^1/_{12}$. Der Flieger legte die Oberarme über zwei horizontale, in Schulterbreite voneinander entfernt laufende Stangen und hielt sich mit den Händen an diesen fest. An der Rückenseite des Apparates war ein horizontales und ein vertikales Steuer angebracht. Die Stange, welche die Steuer trug, war nach den Angaben Herrings elastisch mit dem Tragflächengerüste verbunden, wodurch bewirkt werden sollte, daß das Horizontalsteuer den relativen Wind entweder auf der oberen oder unteren Fläche beim Einsetzen von plötzlichen Windstößen fing und dadurch den Einfallswinkel der Tragflächen derart änderte, daß dadurch die Gleichgewichtsstörung paralysiert wurde. Das Gewicht des Zweiflächenapparates war kleiner als 11 Kilogramm. Bei einer Gesamtbelastung von 81 Kilogramm betrug die Schwebegeschwindigkeit 10 Meter per Sekunde. Der Gleitwinkel

Digitized by Google

schwankte zwischen $7^1/_2$ und 10 Graden. Der effektive Arbeitsverbrauch zum dauernden horizontalen Flug hätte demnach rund zwei Pferdekräfte betragen. Mit diesem Apparat wurden von den Assistenten Chanutes gegen 700 Gleitflüge ausgeführt. Bei keinem von diesen

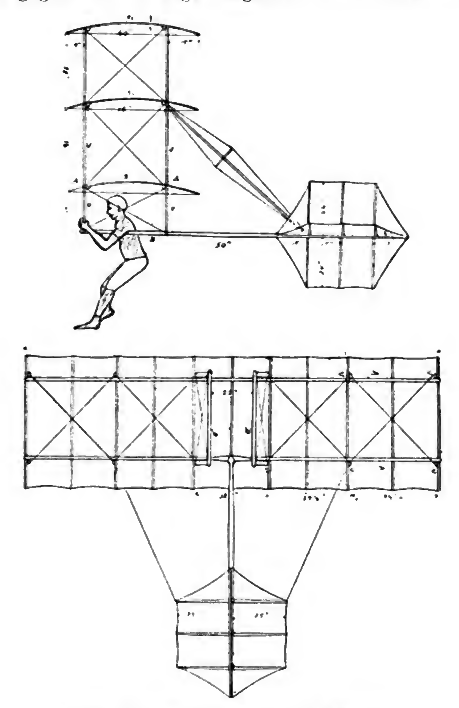


Fig. 100. Gleitflugversuche von Herring.
Pläne eines Dreideckers (Triplex).

ereignete sich auch nur der leichteste Unfall. Trotz dieser günstigen Erfolge hielt Chanute die Anwendung eines Motors noch immer für verfrüht; denn auch die Stabilisierung der letzten Type erforderte noch immer Bewegungen bis zu 6 Zentimeter von seiten des Fliegers. Er versucht deshalb eine dritte Methode, wobei die Flächen um einen

Digitized by Google

festliegenden Drehpunkt hin- und herbewegt werden. Im Jahre 1902 baute er nach diesem Prinzip eine neue Gleitmaschine und erzielte mit ihr gute Erfolge. Der Apparat besteht im Wesen aus drei übereinander liegenden Flächen.

Chanute faßt die Ergebnisse seiner langjährigen praktischen Erfahrungen in folgende Sätze zusammen: Der Apparat muß erstens unter allen Umständen automatische Stabilität besitzen, zweitens muß derselbe so leicht und klein sein, daß er durch die persönliche Kraft seines Lenkers im Winde beherrscht werden kann. Die Stabilität eines Apparates ist das wichtigste Problem, das gelöst werden muß, ehe der Versuch gemacht wird, einen künstlichen Motor in Anwendung zu bringen. Dies kann nicht eindringlich genug betont werden und der beste Weg, dieser Grundforderung zu genügen, besteht darin, mit Apparaten zu experimentieren, die imstande sind, einen Menschen zu tragen. Chanute schreibt über die Eindrücke bei den Gleitflügen:



Fig. 101. Gleitflugversuche von Wilbur und Orville Wright.
Abflug. Der Flieger liegt in horizontaler Stellung. Der Apparat wird von zwei Männern gehalten und gegen den Wind zum Gleiten gebracht. (Nach einer Originalphotographie von W. Wright.)

„There is no more delightful sensation than that of gliding through the air. All the faculties are on the alart, and the motion is astonishingly smooth and elastic. The machine responds instantly to the slightest movement of the operator; the air rushes by one's oars; the trees and bushes flit away underneath and the landing come sall too quickly. Skating, sliding, and bicycling are not to be compared for a moment to aërial conveyance in which, perhaps, zed is added by the spice of danger“ (Chanute, Experiments in Flying, etc. Clures Mag. 1900).

Die wesentlichen Publikationen Chanutes sind: Progress in flying machines, New York 1894; Recent experiments in gliding flight, The Aeronautical Annual 1897; Gliding experiments, Journal of the Western Society of Engineers, Chicago 1897; American Gliding experiments

Digitized by Google

(auch deutsche Übersetzung), Illustrierte Aeronautische Mitteilungen, Straßburg 1898; Conditions of succers in the design of flying machines (auch deutsche Übersetzg.) Ill. Aeron. Mitt. 1899; Aerial Navigation Smithsonian Report, Washington 1904. Experiments in flying Mc. Clures Magazine 1900, New York.

Herring experimentierte zunächst mit kleinen Drachenfliegermodellen, baute 1894 eine Gleitmaschine nach dem Modelle der ersten Type Lilienthals. Es gelang ihm aber bloß Flüge bis zu 189 Fuß zustande zu bringen. Wegen der vermeintlichen zu großen Gefährlichkeit gab er später die Versuche mit dieser Type auf. Er wurde dann Chanutes Assistent und experimentierte mit den von diesem kon-

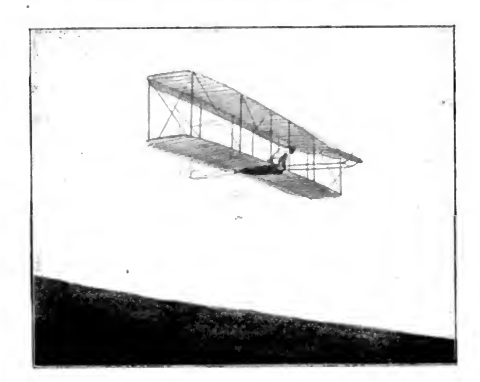


Fig. 102. Gleitflugversuche von W. und O. Wright.
Apparat hoch in der Luft. Stirnsteuer zur Steuerung nach oben und unten und Stabilisierung in der Gleitrichtung, sowie das unbewegliche senkrechte Rückensteuer zur Kurserhaltung deutlich sichtbar. (Nach einer Originalphotographie von W. Wright.)

struierten Gleitmaschinentypen, die schon im vorausgehenden beschrieben wurden. Chanute war wegen seines hohen Alters nicht mehr in der Lage, selbst die Versuche auszuführen, die immerhin eine gewisse Elastizität des Körpers voraussetzten.

Im Jahre 1897 baute Herring allein einen Doppelflächenapparat, der durch zwei Schrauben angetrieben wurde. Die eine Propellerschraube war an der Stirnseite, die andere an der Rückseite der Tragflächen angebracht. Zunächst versuchte er einen Gasolinmotor, dann eine durch Preßluft getriebene Maschine. Es gelang aber bloß, Flüge von 15 bis 20 Meter Länge zustande zu bringen.

Herring bemühte sich sehr viel um die Auffindung einer Methode zur Erreichung einer automatischen Stabilisierung. Er versuchte eine Flächenform zu finden, deren Druckmittelpunkt vom Einfallswinkel

Digitized by Google

unabhängig sein sollte. Später konstruierte er einen elastisch mit dem Gerüste der Gleitfläche verbundenen Schweif, der den gleichgewichtsstörenden Einfluß der Windwirbel in der Nähe der Erdoberfläche parieren und unschädlich machen sollte.

Die Ergebnisse seiner Studien und praktischen Erfahrungen mit Gleitfliegern faßte Herring 1896 in folgende Sätze zusammen:

Der Winddruck wächst nicht proportional mit der Flächengröße. Bei derselben Geschwindigkeit ist bei großen Flächen der Auftrieb pro Flächeneinheit größer und der Rücktrieb ein wenig geringer als bei kleinen Flächen. Der Druckmittelpunkt liegt verhältnismäßig mehr gegen den Hinterrand. Je geringer die größte Distanz des Druckmittelpunktes vom Flächenmittelpunkte ist, um so größer ist die Wirkung der Fläche und um so größer ist der Auftrieb bei gegebenem Einfallswinkel für eine bestimmte Translationsgeschwindigkeit. Stark gewölbte Flächen zeigen bei gewissen Einfallswinkeln eine Umkehr der Verschiebung des Druckmittelpunktes. Bei einer Fläche, deren Wölbung ein Achtel und deren größte Krümmung in einem Drittel von der Vorderkante liegt, ist der Druckmittelpunkt am meisten nach vorn gerückt, wenn der Vorderrand in einem Winkel von nahe 5 Grad aufgedreht ist. Bei größeren oder geringeren Neigungswinkeln wandert aber der Druckmittelpunkt sehr rasch nach rückwärts. Die Ursache dieser Umkehr des Druckmittelpunktes bildet der Druck gegen die Oberseite der Fläche bei kleinen Einfallswinkeln. Die geringste Distanz vom Vorderrande beträgt bei einer derartigen Fläche 37 bis 39 Prozent der Flächenbreite.

Es sei bei dieser Gelegenheit bemerkt, daß Lilienthal diese Änderungen des Druckmittelpunktes bei seinen Messungen der Luftwiderstandsgrößen am Rotationsapparat und im Winde nicht beachtete. Er nahm an, daß der Druckmittelpunkt für alle von ihm erprobten Flächenwölbungen und bei allen Luftstoßwinkeln mit dem geometrischen Mittelpunkte der Fläche zusammenfällt. Für den schiefen Stoß des Wassers gegen ebene Flächen hat schon Avanzini gefunden, daß der Druckmittelpunkt mit abnehmendem Neigungswinkel gegen den Vorderrand rückt. Für den schiefen Luftstoß hat Kummer[1]) die gleiche Tatsache der Abhängigkeit des Druckmittelpunktes von der Flächenneigung bestätigt. Derselbe Forscher zeigte, daß auch die Exposition der Flächen von Einfluß auf die relative Lage des Druckmittelpunktes ist. Ein Rechteck zeigt bei gleichem Luftstoßwinkel andere relative Werte des Druckes, wenn die Langseite oder die Schmalseite den Vorderrand bildet. Die von Lilienthal gefundenen Luftdruckwerte bedürfen deshalb einer vorläufig nicht näher bestimmbaren Korrektion.

Herring hat die Ergebnisse seiner Arbeiten in folgenden Abhandlungen publiziert:

„Dynamic flight", The Aeronautical Annual, Boston 1896, und Recence advances toward a solution of the problem of the century ibd. 1897.

Gleichfalls angeregt durch Lilienthal, begannen die Brüder Wright im Jahre 1900 mit der Ausführung von Gleitversuchen, die

---

[1]) Vgl. Abhandlungen der Berliner Akademie 1875 und 1876.

Digitized by Google

sie in den Jahren 1901 und 1902 mit schrittweise verbesserten Apparattypen fortsetzten. Schließlich erzielten die Brüder Wright in der Durchführung von Gleitflügen eine ganz unglaubliche Fertigkeit.

Der erste Apparat hatte zwei übereinander liegende Tragflächen nach Art des Zweiflächengleiters von Chanute, besaß aber ein erheblich größeres Areal. Noch beträchtlicher waren die Dimensionen des 1901 erprobten Apparates. Dieser war mit zwei Tragflächen von

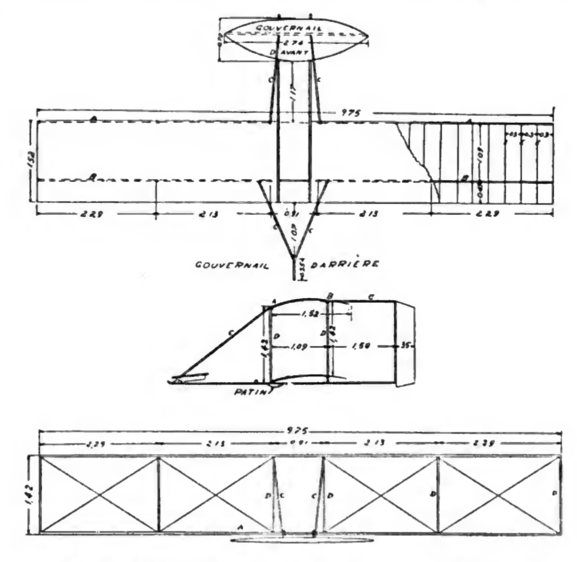


Fig. 103 A, B, C. Gleitflugapparat von W. und O. Wright.
Pläne des Apparates. Gouvernail d'avant: Stirn (Frontal-)steuer (Stabilisierungsfläche), gouvernail d'arriere: Schwanz- (Tergal-) Steuer, Patin: Schlittenkufen zur Landung.

rechteckiger Form versehen, die rund $6\frac{1}{2}$ Meter lang und 2 Meter breit waren. Die Gesamttragfläche umfaßte 27 Quadratmeter. Die Flächenwölbung war wesentlich geringer als bei den Apparaten von Lilienthal und Chanute, sie war auf $\frac{1}{19}$ herabgesetzt. Die Flächen waren in einer Distanz von 1·7 Meter übereinander angebracht. Die wesentlichste Neuerung an dem Wrightschen Gleiter war die Art der Steuerung, bzw. der Stabilisierung in der Vertikalen. Diese wurde durch ein an der Stirnseite angebrachtes drehbares Horizontalruder

Digitized by Google

bewirkt. Alle Störungen des Gleichgewichtes wurden durch Auf- oder Abdrehen dieses Stirnsteuers pariert. Der Flieger lag in horizontaler Stellung mit dem Gesicht nach unten in dem Apparate und hielt ständig die Leinen zum Verstellen des Horizontalsteuers in den Händen. Die Stabilisierung mittels dieses Stirnruders erwies sich als vortrefflich. Es konnten Landungen bis zu 10 Meter Windgeschwindigkeit in voller Sicherheit bewerkstelligt werden. Die Lenkung in horizontaler Richtung wurde durch einseitiges Verdrehen der Tragflächen erzielt. Die Wirkung einer derartigen Flächentorsion ist leicht verständlich. Wird z. B. das Tragflächenende rechter Hand des Fliegers stärker aufgedreht, so bietet diese Seite dem Winde eine größere Widerstandsfläche dar, erfährt also auch einen größeren Druck, eine größere Hemmung als das andere Ende und der Apparat wird deshalb eine Drehung nach rechts ausführen. Das Versteifungsgerüste des Apparates bestand aus Holz.

Im Sommer 1901 wurden mit dem neuen Gleiter von niederen Sandhügeln an der Meeresküste in Nord-Karolina gegen hundert Gleitflüge ohne wesentlichen Unfall ausgeführt. Der Gleitwinkel betrug im Mittel 9 bis 10 Grad. Im folgenden Jahre setzten die Brüder Wright ihre Studien mit einem neuen verbesserten Apparate fort. Die Tragflächen waren $10^1/_2$ Meter lang und $1^1/_2$ Meter breit; ihr gesamtes Areal betrug nahezu $28^1/_2$ Quadratmeter. Der Apparat wog rund 53 Kilogramm. Das Stirnsteuer hatte eine Fläche von 1·4 Quadratmeter. Mit dieser neuen Type wurden gegen tausend Gleitflüge ausgeführt, wobei der Apparat bloß ein einzigesmal eine erheblichere Beschädigung erlitt. Die Gleitflüge wurden stets in der Weise eingeleitet, daß zwei Männer an den Enden der Tragfläche diese emporhoben und sie mit einem Schwung in horizontaler Richtung losließen. Die Resultate mit der neuen Apparattype waren wesentlich günstiger als die mit den früheren Gleitmaschinen erzielten. Die Gleitbahn war bloß $6^1/_2$—7 Grade gegen die Horizontale geneigt. Bei kurzen Gleitflügen von 45 bis 60 Meter Länge wurde sogar ein Gleitwinkel von nur 5 Grad erreicht. Die Schwebegeschwindigkeit des Apparates betrug gegen 8 Meter in der Sekunde. Das beste Resultat wurde bei Windgeschwindigkeiten von 8 bis 10 Meter erzielt. Bei Windgeschwindigkeiten unter 3 Meter in der Sekunde war es schwer, den Apparat zum Fluge zu bringen, da es nicht leicht möglich war, mit der schweren Gleitmaschine den erforderlichen Anlauf von 5 Meter Geschwindigkeit in der Sekunde auszuführen. Selbst bei Windgeschwindigkeiten von nahezu 17 Meter in der Sekunde wurden noch in voller Sicherheit Gleitflüge ausgeführt. Der längste Flug war 189 Meter, der in 26 Sekunden zurückgelegt wurde; daraus ergibt sich eine mittlere Fluggeschwindigkeit von mehr als 7 Meter in der Sekunde. Sämtliche Versuche verliefen ohne den geringsten Unfall.

Die Brüder Wright fassen die Ergebnisse ihrer Studien in folgende Sätze zusammen:

Große Tragflächen können unter sonst gleichen Bedingungen mit nicht größerer Schwierigkeit behandelt werden als kleine, falls die Stabilisierung mehr durch Manipulationen mit den Tragflächen als durch Bewegung des Fliegers bewirkt wird. Die horizontale Lage des

Digitized by Google

Führers kann ohne übergroße Gefahr angewendet werden und dadurch der Stirnwiderstand auf ungefähr den fünften Teil von jenem bei aufrechter Stellung herabgedrückt werden. Ein paar von übereinandergestellten Flächen ergibt weniger Auftrieb im Verhältnis zum Rücktrieb, als jede Fläche getrennt, selbst dann, wenn man auf Gewicht und Stirnwiderstand der Verbindungsglieder Rücksicht nimmt. Der Stirnwiederstand des Rahmens kann auf einen wesentlich geringeren Betrag herabgedrückt werden, als gewöhnlich angenommen wird.

Bei gewölbten Flächen fällt bei einem Luftstoßwinkel von 90 Graden der Druckmittelpunkt nahezu mit dem geometrischen Mittelpunkt der Fläche zusammen; er rückt aber mit abnehmendem Luftstoßwinkel langsam vorwärts, bis ein von der Form und der Tiefe der Wölbung abhängiger kritischer Punkt erreicht ist, worauf der Druckmittelpunkt



Fig. 104 A. Gleitflieger von Nimführ.

Ansicht der Tragfläche von oben mit der Fixiervorrichtung. Tragfläche oben und unten glatt überspannt. Die dünnen Querrippen der ganzen Länge nach an den Stoff genäht. Vorderkante in Schneide auslaufend. Nach einer Photographie von A. Schmal-Filius.

rasch nach der Hinterkante wandert, bis jener Luftstoßwinkel erreicht ist, bei dem der Auftrieb verschwindet. Das Verhältnis von Rücktrieb und Auftrieb ist bei gut geformten Flächen bei Einfallswinkeln von 5 bis 12 Graden geringer als bei einem Winkel von nur 3 Graden.

Über ihre Studien im Gleitfluge haben die Brüder Wright zwei ausführliche Berichte veröffentlicht, und zwar „Some aëronautical experiments“ in Journal of the Western Society of Engineers, Chicago 1901 und „Experiments and observations in soaring flight“ id. 1903.

In Frankreich fand Lilienthal in Ferber einen begeisterten Schüler; dieser baute vom Jahre 1898 ab 6 Typen von Gleitmaschinen und experimentierte mit ihnen nach mehreren Methoden. Die ersten vier Modelle waren einflächig, dann ging Ferber zur Doppelflächen-

Digitized by Google

gleitmaschine über. Die Tragflächen der beiden ersten Apparate hatten die Form eines Deltoides, dessen längere Achse mit der Flugrichtung zusammenfiel; sie wogen 20 bis 30 Kilogramm und hatten ein Flächenareal von 15 bis 25 Quadratmeter. Die Stabilität dieser beiden Flächen „ließ viel zu wünschen übrig". Hierauf ging Ferber zur Lilienthalschen Flügelform über. Die dritte Type hatte eine Fläche von 15 Quadratmeter, eine Spannweite von 7 Meter und wog 30 Kilogramm. Der Apparat besaß kein genügendes Tragvermögen. Der vierte Gleiter hatte die gleichen Gewichts- und Tragflächengrößen wie Nr. 3, nur war die Spannweite ein Meter größer. Der Apparat unterschied sich in Flügelform und Bauart nicht wesentlich von Lilienthals Einflächertype. Er wurde 1901 probiert. Der Abflug erfolgte von einem 5 Meter hohen Gerüste. Es konnten bloß Gleitweiten von 15 Meter erzielt werden.



Fig. 104 B. Gleitflieger von Nimführ.
Ein Gleitflug (Luftsprung). Nach einer Photographie von A. Schmal-Filius.

Ferber ging nun zum Doppeldecker über, den er nach der Wrightschen Type herstellte. Auf die Konstruktion der Tragfläche legte Ferber indes anscheinend nicht denselben Wert wie Lilienthal und auch die Brüder Wright, sondern er spannte mittels eines Schnürlochbandes die Tragfläche einfach über den parallelepipedischen Rahmen. Auf die Herstellung eines möglichst günstigen Flächenprofiles sowie auf die Verminderung des Stirnwiderstandes scheint Ferber zunächst weniger Sorgfalt verwendet zu haben. Es gelang ihm deshalb auch nicht, erheblichere Gleitweiten zu erzielen. Diese betrugen beim ersten Versuch 25 Meter, beim zweiten 50 Meter; die Landung erfolgte sehr brüsk. Der Apparat wog 50 Kilogramm, die beiden Tragflächen hatten eine Spannweite von 9·5 Meter und eine Breite von 1·8 Meter, ebenso groß war die Distanz der Tragflächen. Das Areal derselben betrug 33 Quadratmeter. Ferber brachte später an den Enden der Tragflächen dreieckförmige Seitensteuer an, um das Abweichen vom Windstrich zu verhindern; später baute er dann in einen

Digitized by Google

neuen Apparat der gleichen Type einen 6 pferdigen Buchet-Motor von 39 Kilogramm Gewicht ein. Dieser trieb zwei Propellerschrauben; sie waren an der Stirnseite des Apparates an derselben Welle angebracht und drehten sich gegenläufig. Der Apparat wog komplett 230 Kilogramm, davon entfallen auf den Motor 90 Kilogramm, den Versteifungsrahmen 65, Führer 75 Kilogramm. Die Tragfläche hatte ein Areal von 50 Quadratmeter. Die Spannweite war 10 Meter, Breite $2^1/_2$, Flächendistanz ebenfalls $2^1/_2$ Meter. Die Versuche wurden mittels eines großen Rundlaufapparates durchgeführt. Dieser bestand aus einem horizontalen eisernen Gitterträger von 30 Meter Länge, der



Fig. 104 C. Gleitflieger von Nimführ.

Tragfläche von unten. Die Schatten in der Tragfläche zeigen die doppelte Überspannung des Rahmengerüstes an. Wölbung der Tragfläche und transversale Rippen sehr gut erkenntlich. (Nach einer Photographie von A. Schmal-Filius.)

sich um eine lotrechte, durch seine Mitte gehende Achse in einer horizontalen Ebene im Kreise herumdrehen konnte. Das Lager ruhte auf einer 18 Meter hohen lotrechten Trägerkonstruktion, deren unteres Ende im Boden fundiert war. An dem einen Ende des horizontalen Armes dieses Rundlaufapparates wurde der Gleiter mittels eines Seiles suspendiert. Ferber wollte auf diese Weise das Risiko bei der ersten Erprobung des Apparates vermeiden. Der Apparat sollte zunächst am Rundlauf auf seine Flugfähigkeit geprüft werden. Diese Methode der Erprobung von dynamischen Apparaten hat wohl manche Vorteile für sich, sie ist aber auch nicht frei von schwerwiegenden Mängeln. Vor allem muß sich bei größerer Geschwindigkeit der Einfluß der Zentrifugalkraft in höchst unangenehmer Weise bemerkbar machen. Es gelang Ferber nicht, mit seinen Schrauben den erforderlichen Vortrieb zu erzielen. Ferber hat sich um die Förderung der Flugtechnik in Frankreich zweifellos große Verdienste erworben, indem er durch seine Versuche sowohl wie auch insbesondere durch seine unausgesetzte Propaganda für die Schule Lilienthal sehr anregend wirkte. Über Ferbers Publikationen siehe im „Anhang“.

Digitized by Google

Nach sorgfältigen und eingehenden Studien über den Flugmechanismus der organischen und organisierten Gleiter und Flieger (Pflanzensamen, Vögel, Fledermäuse usw.) ging Wels mit finanzieller Unterstützung von Etrich an die Ausführung von größeren Gleitfliegermodellen nach dem Vorbilde des Zanoniasamens. Dieser merkwürdige, häutige Samen in der Form eines Halbmondes oder besser noch der Gestalt eines Kneiferetuis stellt einen außerordentlich vollkommenen organischen Gleiter dar. Die beiden „Hörner" werden während des Gleitfluges nach oben gebogen und bilden ein paariges Pénaud-Steuer, das dem Apparat eine automatische Stabilität in longitudinaler Richtung, parallel zur Flugrichtung, und auch in transversaler Richtung, senkrecht zur Flugrichtung, verleiht. Nach dem Prinzip des Zanoniasamens wurde ein großes 6 Meter klafterndes Modell gebaut, das einen ausgezeichnet guten Effekt ergab. Durch zahlreiche Versuche mit dem Modell, das durch Sandsäcke belastet wurde, war die völlig automatische Stabilität der Welsschen Fläche erwiesen.

Um nun auch die Stabilitätsverhältnisse des großen Apparates, der zum Tragen eines Menschen bestimmt ist, zu erproben, führte Wels in der ersten und zweiten Oktoberwoche 1907 eine Reihe von Gleitflügen aus. Die Versuche verliefen alle ohne den geringsten Zwischenfall und ergaben Gleitlängen bis über 200 Meter mit einer mittleren Geschwindigkeit von 13 bis 15 Meter per Sekunde.

Die Gleitflüge wurden in der Weise durchgeführt, daß man den Apparat mittels eines leichten Wägelchens über einen Abhang hinabrollen ließ. Sowie die Schwebegeschwindigkeit erreicht war, hob der Apparat sich vom Wägelchen ab und der Gleitflug begann. Die Landung erfolgte auf Schlittenkufen. Der Führer stand aufrecht in Fechterstellung, so daß der halbe Oberkörper über die Tragfläche hervorragte. Mit den Händen hielt er einen rings um ihn laufenden Holzring.

Die Dimensionen der Tragfläche sind: Größe 38 Quadratmeter; Breite 3·6 bis 5 Meter. Die Fläche klaftert 10 Meter und wiegt samt Rahmengerüste und Schlittenkufen 164 Kilogramm. Das Gewicht des Führers ist 63 Kilogramm; die Gesamtbelastung betrug demnach 227 Kilogramm. Der Gleitwinkel wird zu 7—8° angegeben.

Am 2. Oktober 1907 führte Wels drei Gleitflüge aus, die folgende Längen hatten: 150, 180 und 225 Meter. Am 8. Oktober wurden vier weitere Flüge unternommen, die 200 Meter nicht überschritten. Die Stabilität war bei allen Flügen vortrefflich.

Nach diesem günstigen Erfolge der Gleitflüge wurde ein 24 PS. Antoinette-Motor in den Apparat eingebaut, der eine an der Rückseite angebrachte Luftschraube betätigen soll.

Das charakteristische Merkmal der Welsschen Fläche ist, daß sie an der Unterseite konkave Form hat. Gegen den Hinterrand zu geht die Wölbung von der konkaven in die konvexe Form über. Auch die Hörner sind auf der Unterseite konvex. Das Prinzip der automatischen Stabilität ist genau dasselbe wie bei dem Pénaud-Steuer. Der Schwerpunkt des Apparates liegt nur wenig unterhalb der Ebene der Fläche. Läßt man den Gleiter frei sinken, so hat er das Bestreben, nach vorne umzukippen. Infolge der eigentümlichen Form der Fläche ist die Reaktante, das ist die Richtung der Mittelkraft des Luftwider-

Digitized by Google

standes gegen den ganzen Apparat nicht lotrecht, sondern schließt mit der Lotlinie durch den Angriffspunkt einen spitzen Winkel ein, und zwar fällt die Reaktante, von der Lotlinie aus gerechnet, nach der Seite der Flugrichtung. Wir sagen, die Reaktante hat eine positive Deklination. Zerlegen wir die Reaktante in eine lotrechte und eine horizontale Komponente, so gibt die lotrechte Mittelkraft den aerodynamischen Auftrieb, welcher dem Gewichtsdrucke der Schwere entgegenwirkt und diesen vermindert. Die horizontale Komponente gibt den Vortrieb, welcher dem Apparat eine Beschleunigung in ihrer Richtung erteilt und das Gefälle vermindert. Der Apparat kann deshalb nicht lotrecht sinken, sondern er wird in schräger Bahn niedergleiten. Sowie die Drehung der Fläche infolge der Vorlastigkeit des

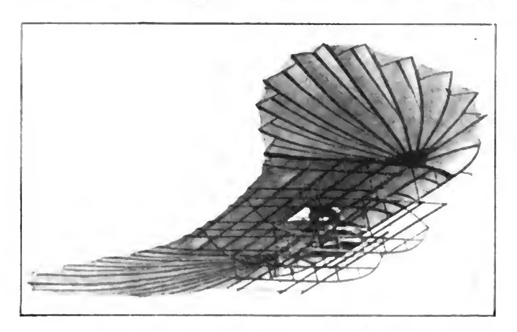


Fig. 105. Gleitflugversuche von Franz Wels. 1907.

Gleitflug vom 8. Oktober 1907. Apparat Modell Nr. 2, ausgeführt auf Kosten der österreichischen Großindustriellen J. Etrich sen. und jun. Tragfläche: Zanonia-Form. Gestalt eines Kneifer-Etuis mit aufgebogenen Hörnern. (Nach einer Originalphotographie.)

Schwerpunktes einen gewissen Betrag erreicht hat, erhalten die Hörner Druck von oben. Dadurch wird die Drehbewegung gehemmt, verzögert und ein völliges Umkippen verhindert. Die Hörner der Tragfläche haben nicht bloß ein Gefälle von hinten nach vorne, sondern auch von außen nach innen. Die Mittelkraft des Luftwiderstandes gegen jedes der Hörner fällt deshalb nicht in eine zur Flugrichtung parallele Lotebene, sondern schließt mit dieser einen Winkel ein und gibt deshalb auch eine Komponente senkrecht zur Flugrichtung. Diese beiden Komponenten bilden ein Drehpaar, das der Fläche auch in seitlicher Richtung, senkrecht zur Flugrichtung, eine dynamische Fesselung gibt und so ein Umkippen nach links und rechts verhindert. In dem Kapitel „Technik der Drachenflieger“ ist diese Wirkung der Kielung näher erläutert. Nach dem Einbau eines Motors, der eine an der Rückseite angebrachte Luftschraube antreibt, wird der Gleitflieger als Motorgleitflieger, bzw. als Drachenflieger erprobt.

Digitized by Google

Über die Versuche mit dem Gleitfliegermodell von Etrich-Wels und die bemannten Gleitflüge von Wels vergleiche auch die Aufsätze des Autors in den Illustr. Aeronautischen Mitteilungen 1907.

In Deutschland selbst fand Lilienthal zunächst keinen Nachfolger. Der tödliche Unfall des Berliner Flugkünstlers hat ohne Zweifel abschreckend gewirkt. In Österreich habe ich seit dem Jahre 1897 im Gegensatze zu der damals herrschenden Schule auf die große Bedeutung der Arbeiten Lilienthals hingewiesen und deren Fortführung in Wort und Schrift angeregt. Ich erwarb von Lilienthals Erben in Berlin dessen Motorgleitflieger [1]), in der Absicht, die Gleitversuche zunächst mit diesem Apparat fortzusetzen, um dann auf Grund der gesammelten Erfahrungen an die Ausführung einer Neukonstruktion zu schreiten. Um anregend zu wirken, habe ich Lilienthals Apparat auch der aeronautischen und flugtechnischen Fachwelt in der Wiener „Urania" demonstriert. Man brachte aber zunächst nur geringes Verständnis der genialen Leistung des deutschen Flugmeisters entgegen. Die mit Lilienthals Originalapparat angestellten Versuche ließen erkennen, daß das Material nicht mehr zuverlässig genug sei. Die Weidenruten des Versteifungsrahmens waren schon morsch und auch die Bespannung hatte stark gelitten. Auf Grund seiner mehrjährigen theoretischen Studien und in Anlehnung an die Ergebnisse der experimentellen Forschungen Lilienthals ließ ich dann in der Automobil- und Maschinenfabrik G. und L. Brand in Wien aus Mannesmann-Stahlrohren eine Tragfläche herstellen, die zunächst für einen neuartigen Schwingenflieger als Trag- und Treibfläche dienen sollte. Der Flügel sollte in horizontaler Lage elastisch suspendiert durch einen Kolbenmotor in rasch schwingende Bewegung von geringer Amplitude versetzt werden. Infolge der elastischen Ausbildung des Hinterrandes sollte der Flügel nicht bloß tragend wirken, sondern auch einen horizontalen Vortrieb erzeugen. Die technische Schwierigkeit, eine so große Fläche in genügend rasche Oszillationen zu versetzen, ließ es wünschenswert erscheinen, den Vortrieb zunächst durch einen unabhängigen Propulsor zu erzeugen. Die Tragfläche wurde zunächst als Gleitapparat erprobt. Um den Rücktrieb möglichst zu verringern, wurde der Bespannungsstoff über die Unterseite der Querrippen des Versteifungsrahmens gelegt. Auch die Oberseite wurde mit zwei breiten Stoffstreifen überspannt. Die Querrippen des rechteckförmigen Rahmens ragten etwa zwei Dezimeter vor und die Enden waren durch ein Rohr von der Stärke der Rippen verbunden. Auf diese Weise wurde ein Flächenkörper erhalten, der vorne in eine scharfe Schneide auslief, während der Hinterrand in der Breite von $^1/_2$ Meter federte. Der Stirnwiderstand wurde deshalb möglichst herabgedrückt und der Vortrieb vergrößert. Die wenigen angestellten Versuche ließen in der Tat eine erhebliche Überlegenheit über die Lilienthalsche Flächenkonstruktion erkennen. Die Details der Konstruktion meiner Gleitflugmaschine und der mit dieser angestellten Versuche habe ich in der „Wiener Luftschiffer-Zeitung" und der „Technisch-naturwissenschaftlichen Zeit" (Wien) publiziert. Ich habe auch als erster in Österreich, ja auf dem Kon-

[1]) Es ist dies der Apparat Fig. 95 A, B.

Digitized by Google

tinent, auf die Bedeutung der Gleitflugversuche der Brüder Wright hingewiesen, in mehreren Vorträgen im Wiener flugtechnischen Verein und in zahlreichen Publikationen mit beharrlicher Konsequenz den Satz verfochten: „Die Zukunft der Flugtechnik geht über Lilienthal.“ Es soll mit diesen Hinweisen keinerlei Verdienst beansprucht werden, sondern ich wollte bloß die Tatsache konstatieren, daß ich schon vor den Franzosen und Amerikanern die große Bedeutung der Forschungen des deutschen Flugtechnikers Otto Lilienthal nicht bloß ihrer ganzen Bedeutung nach gewürdigt, sondern auch selbständig Gleitflugversuche durchgeführt habe.



Die Schraubenflieger.

Geschichtliches.

Die ersten Projekte von Schraubenfliegern und die ersten Versuche mit kleinen Modellen. Die Idee, mittels Schrauben Lasten in die Luft zu heben, wurde, wie es scheint, zum erstenmal von Leonardo da Vinci, dem genialen Künstler und Naturforscher, um das Jahr 1500 ausgesprochen. In den Manuskripten Leonardos, welche in der Ambrosianischen Bibliothek in Mailand entdeckt wurden, findet sich die Zeichnung einer langen, um eine vertikale Achse rotierenden Schraube mit folgenden Randnoten in italienischer Sprache:

„Die äußere Kontur der Schraube besteht aus Eisendraht von der Stärke einer Schnur und die Entfernung vom Rande zum Mittelpunkt beträgt acht Faden (zirka 32 Meter). Wenn diese Vorrichtung in Form der Schraube gut gemacht ist, d. i. hergestellt aus Leinensegel, dessen Poren man mit Stärke verkleistert hat, und wenn man sie rasch dreht, finde ich, daß eine solche Schraube seine Mutter in der Luft finden wird und daß sie in die Höhe steigt. Die Versteifung des Segels soll aus langem und starkem spanischen Rohr hergestellt werden.“ Aus einigen weiteren Notizen scheint hervorzugehen, daß Leonardo auch mit kleinen

Schrauben aus Papier experimentiert hat, die er durch rasche Drehung zum Aufsteigen brachte. Da die Manuskripte Leonardos erst im 18. Jahrhundert veröffentlicht wurden, blieben seine Ideen jedoch ohne Einfluß auf die Entwicklung des Schraubenfliegers. Dieser wurde mehr als zweieinhalb Jahrhunderte später von dem Mathematiker Paucton wieder erfunden. Im Jahre 1768 veröffentlichte Paucton eine Abhandlung über die Archimedische Schraube unter dem Titel „Théorie de la vis d'Archimède, de la quelle on déduit celles des moulins, conçue d'une nouvelle manière". In dieser Arbeit beschreibt er vollkommen klar und deutlich einen Apparat, den er „Ptérophore" nennt, bestehend aus zwei Luftschrauben, einer vertikalen Achse zum Tragen, die andere mit horizontaler Achse zum Vortrieb. Beide sind auf einem leichten Sitz aufmontiert und sollten durch einen Mann, vermittels eines Getriebes, in Rotation versetzt werden. „Ein Mann verfügt über genügende Kraft, das Gewicht seines Körpers zu überwinden. Wenn ich also in die Hände dieses Mannes eine Maschine lege, von der Art, daß er mittels ihrer Hilfe auf die Luft mit der ganzen Kraft wirkt, deren er fähig ist, und seine ganze Geschicklichkeit aufwendet, wird er sich mit Hilfe dieser Flüssigkeit erheben, wie mit Hilfe des Wassers oder selbst eines festen Körpers. Es scheint, daß bei einem Ptérophore, das vertikal an einem Sitz anmontiert ist, wenn alles leicht und sorgfältig ausgeführt ist, sich nichts findet, das hindern würde, diese Eigentümlichkeit in ihrer ganzen Vollkommenheit zu erreichen. Bei der Konstruktion wird man Sorge tragen, daß die Maschine so wenig als möglich Reibung erzeugt; und sie muß naturgemäß wenig erzeugen, wenn sie möglichst wenig kompliziert ist. Der neue Dädalus wird, bequem sitzend auf seinem Stuhl, dem Ptérophore mittels einer Handwelle jene Kreisbewegung erteilen, die er für nötig erachtet. Dieses eine Ptérophore wird ihn vertikal hoch heben; aber um sich horizontal zu bewegen, bedarf er eines Steuers; dieses wird ein neues Ptérophore sein. Wann er sich ein wenig ausruhen will, schließt er durch Klappen oder Ventile, die fix angebracht sind an den Enden des Schraubenganges, die Kanäle der Schraube, durch welche die Luft fließt, und die Basis des Ptérophore bildet so eine vollkommen geschlossene Fläche, welche der Flüssigkeit Widerstand leistet und den Fall der Maschine erheblich verlangsamt."

Paucton machte sich über den durch Hubschrauben erzielbaren Auftrieb offenbar keine zutreffende Vorstellung. Er unterschätzt die erforderliche Antriebskraft. Da man bis dahin immer bloß an die unmittelbare Kopierung der Natur mit den oszillierenden auf- und niederschwingenden Flügeln dachte, stellt die Idee der Auftriebserzeugung mittels Rotationsbewegungen von Schrauben einen originellen und prinzipiell neuen Gedanken dar. Wenn man sich vor Augen hält, daß wir auch heute, nach 140 Jahren, noch keinen vollkommen flugfähigen Schraubenflieger besitzen, wird man dem Projekt von Paucton die intellektuelle Kühnheit nicht absprechen können.

Im Jahre 1784 demonstrierten Launoy und Bienvenu ein kleines Spielzeug, das sich nach dem Prinzip des Schraubenfliegers durch mechanische Kraft in die Luft erhob. Der Apparat wog bloß 100 Gramm, zeichnet sich aber durch geniale Einfachheit der Konstruktion aus

Digitized by Google

und verdient deshalb einiges Interesse. Als Schrauben dienten vier gleich große Federn aus den Schwingen eines größeren Vogels. Sie sind in einen Kork gesteckt und alle im gleichen Sinne ein wenig aufgedreht. Zwei solche Schrauben sitzen an einer gemeinsamen Achse und rotieren im entgegengesetzten Sinne. Die Drehbewegung wird durch ein bogenförmig gespanntes Rohr erzielt. Die Sehne des Bogens wird zu diesem Zwecke um die Schraubenachse aufgewunden, wobei sich der Bogen spannt. Läßt man den Flieger mit lotrechter Achse los, so entspannt sich der Bogen und versetzt die beiden Schrauben in gegenläufige Rotation. Der Apparat steigt auf, bis der Bogen entspannt ist, und sinkt dann wieder zurück. Launoy und Bienvenu projektierten auch einen großen Schraubenflieger, mit dem sie sich erheben wollten. Das Projekt hätte natürlich an der Kraftfrage scheitern müssen. George Cayley beschrieb in Nicholsons Journal 1808 die gleiche Vorrichtung; er erwähnt sie aber bloß als Spielzeug. Es ist nicht bekannt, ob er die Idee von Launoy-Bienvenu entlehnt oder ob er den Apparat selbst wieder erfunden hat.

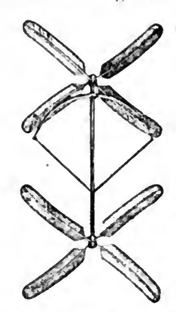


Fig. 106. Erstes freifliegendes Schraubenfliegermodell von Launoy und Bienvenu.

Erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts hören wir wieder von Versuchen mit Schraubenfliegern. Im Jahre 1842 konstruierte der Engländer Phillips ein Modell eines Reaktionsschraubenfliegers, das 900 Gramm wog und sich samt dem Kraftgenerator vom Boden abhob. Der Apparat bestand aus einem Dampferzeuger, unter dem eine Mischung von Salpeter und Kohle brannte. Die heißen Gase, welche sich bei der Verbrennung entwickelten, vermischten sich mit dem Wasserdampf, der im Kessel erzeugt wurde, und dieses Gemisch von Dampf und Gas von hoher Spannung erhob sich durch ein enges Rohr und verteilte sich in 8 Leitungsrohre, die gleichzeitig die Träger von 4 dünnen Lamellen bildeten, die unter einem Winkel von 20 Grad geneigt waren. Das durch die Öffnungen der 8 Rohre ausströmende Gasgemisch versetzte das Rad in rasche Rotation. Dieses stellte also die Verbindung eines Reaktionsrades mit einer Schraube dar. Nach den Berichten von Augenzeugen erhob sich der Apparat zu großer Höhe. Er stellt die erste Maschine dar, die sich durch Dampfkraft frei in die Luft erhob. Die geringe Kapazität des Generators und der unökonomische Verbrauch begrenzte aber die Wirkung auf wenige Minuten Dauer und machte eine Ausführung im großen unmöglich.

Bourne stellte 1843 mehrere Modelle von Schraubenfliegern her, indem er große Vogelfedern in einen Kork steckte. Den Antrieb lieferten Uhrfedern. Die Apparate erhoben sich auf 6 Meter Höhe. Bourne erkannte, daß der springende Punkt die Beschaffung eines genügend leichten Motors ist.

Digitized by Google

Ein Projekt eines großen Schraubenfliegers rührt von Cossus aus dem Jahre 1845 her. Drei Schrauben mit vertikalen Achsen sind auf einem Rahmengestelle aufmontiert. In der Mitte war eine größere, seitlich zwei kleinere Schrauben, deren Achsen geneigt werden konnten, um den Vorwärtsflug zu erzielen. Die Schrauben hatten anscheinend zwei Flügel, die durch Drähte nach oben und unten versteift waren. Die Welle stand zu diesem Zwecke um mehr als den halben Schraubendurchmesser über die Lagerung nach oben vor. Darin liegt wohl der Hauptmangel der sonst ganz rationellen Konstruktion. Es ist nicht bekannt, ob Versuche angestellt wurden mit einem nach dem Projekt gebauten großen Apparat. Während der Ablaufsdauer der Federn ergaben die Schrauben einen Auftrieb von 40—60 Gramm.

Bright projektierte 1859 einen Apparat mit zwei knapp untereinander befindlichen gegenläufigen Schrauben an gemeinsamer Achse. Der Antrieb sollte durch Handkraft erfolgen. Auf die Treibwelle war ein Kegelrad aufgesetzt, das in zwei dazu senkrecht stehende Kegelräder eingriff. Das eine war mit der oberen Schraube verbunden, das andere mittels einer hohlen Welle mit der unteren. Das Projekt hat bloß historisches Interesse.

Zahlreiche Versuche mit Schrauben stellte La Landelle im Jahre 1861 an. Die vertikale Schraubenachse wurde durch Uhrfedern angetrieben. Mittels einer Wage wurde die Gewichtsverminderung, der Auftrieb, gemessen. La Landelle experimentierte mit einer großen Reihe von Schraubenformen. Später konstruierte er eine Maschine, die durch Armkraft bewegt werden konnte. Von den 160 Kilogramm, welche der Apparat samt einem Mann wog, wurden etwa 10 bis 15 Kilogramm durch den Auftrieb kompensiert. Im Auftrage Ponton d'Amécourts baute der Pariser Mechaniker Joseph ein größeres Modell eines Schraubenfliegers, das ein wahres Meisterstück darstellte. Der Apparat besteht aus zwei übereinander gestellten gegenläufigen Schrauben, deren Antrieb von einer zweizylindrigen Dampfmaschine geliefert wird. Die Übertragung der Kraft vom Motor auf die Schrauben erfolgt durch zwei Zahnräder und zwei Kegelräder. Der Kessel und das Gestell ist aus Aluminium, die Zylinder aus Bronze. Der Kessel ist 8 Zentimeter hoch und hat 10 Zentimeter im Durchmesser. Die Gesamthöhe des Apparates beträgt 62 Zentimeter. Das Modell wiegt ohne Kesselwasser und Brennstoff 2·7 Kilogramm. Der Kessel konnte nicht unter genügendem Druck arbeiten. Der Apparat zeigte wohl einen Auftrieb, dieser reichte aber nicht hin, um das Modell vom Boden abzuheben. G. de la Landelle veröffentlichte 1863 ein umfangreiches Buch „Aviation ou navigation aërienne", auf dessen Titelblatt er sein später vielfach bespötteltes Projekt eines großen Schraubenfliegers setzte. Ein schiffförmiger Rumpf trägt zwei Masten, an denen je 4 vierflügelige Schrauben angebracht sind. Die Spitzen der Masten sind mit zugeklappten Schirmen versehen. An Bord des Schiffskörpers sieht man eine Schraube mit horizontaler Achse zur Propulsion. Zu beiden Seiten des Rumpfes befinden sich versteifte rechteckförmige Tragflächen, die als Fallschirme wirken sollen. An der Bug- und Achterseite des Schiffes sind lange dreieckförmige Steuerflächen angebracht. Aus dem Mittelschiff ragt ein Schlot empor, der eine mächtige Rauch-

Digitized by Google

säule in die Luft jagt. Nach der Größe der an Bord gezeichneten Personen zu schließen, war der projektierte Schraubenflieger in sehr erheblichen Dimensionen gedacht. Seine Realisierung hätte in erster Linie natürlich an der Kraftfrage scheitern müssen.

Ein nettes Spielzeug stammt von Pénaud, dessen hervorragende Leistungen bereits bei der Besprechung seines Drachenfliegers und des von ihm konstruierten automatischen Steuers gewürdigt wurden.

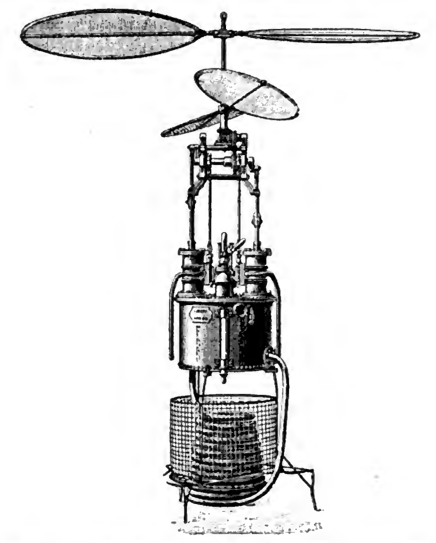


Fig. 107. Schraubenfliegermodell von Ponton d'Amécourt.
Mit koaxialen gegenläufigen Schrauben.

Er baute im Jahre 1870 einen kleinen Schraubenflieger, bestehend aus zwei gegenläufigen Schrauben, die durch gedrehte Gummischnüre in Rotation versetzt wurden. Pénaud wandte zuerst Gummischnüre in Spannung an, er fand aber, daß die dadurch notwendige Verstärkung des Rahmens mehr als aufgewogen wird durch die geringere Wirkung der tordierten Schnüre. Diese Spielzeuge schießen in die Höhe wie ein Pfeil gegen 20 Meter und fallen dann nieder oder segeln in großen Kreisen herab, wobei sie oft 15—20 Sekunden lang 6—10 Meter hoch an derselben Stelle in Schwebe bleiben. Wie der Drachenflieger, zeich-

Digitized by Google

net sich auch Pénauds Schraubenflieger durch seine geniale Einfachheit der Konstruktion aus. Die Verwendung von Kautschukfäden an Stelle der bis dahin verwendeten Uhrfedern bedeutet einen erheblichen Fortschritt, da der Gummi bei gleichem Gewicht mehr Energie aufzuspeichern vermag, als Fischbein- oder Stahllamellen. Wegen Mangel eines genügend leichten Motors gab Pénaud später seine Schraubenstudien auf und wandte sich den Drachenfliegern zu.

Ein Projekt von Pomès und De la Pauze aus dem Jahre 1871 zeigt, daß an originellen Ideen kein Mangel ist in der Entwicklungsgeschichte der Flugtechnik. Eine vierflügelige Schraube mit verstellbarer Achse sollte durch einen Schießpulvermotor in Rotation versetzt werden. Es ist nicht bekannt, ob mit diesem mehr originellen als praktischen Motor, der auch in neuester Zeit noch mehrmals wieder erfunden wurde, praktische Versuche angestellt wurden.

Versuche mit großen Schraubenfliegern und größeren Modellen.

Bemerkenswerte Versuche führte Renoir im Jahre 1872 mit einer großen Schraube aus. Diese hatte einen Durchmesser von $^1/_2$ Meter und konnte nahe 12 Kilogramm Auftrieb erzeugen. Die Schraube besaß zwei Flügel mit zunehmender Steigung. Der Einfallswinkel war an der Vorderkante 3 Grad und wuchs am Hinterrande bis zu 30 Grad. Die zwei Blätter bedeckten die ganze Fläche der Schraube. Die Außenränder waren umgebogen, um das zentrifugale Abströmen der Luft bei der Rotation zu verhindern. Der Antrieb erfolgte durch Fußkraft nach Art eines Fahrrades. Renoir schätzt die geleistete Arbeit bloß auf $^1/_5$ Pferdekräfte, sie darf aber wohl mit nahe einer Pferdekraft angesetzt werden.

Aus derselben Zeit stammt ein Projekt von Mélikoff, das sich durch die originelle Form der Schraubenfläche auszeichnet. Diese hat die Gestalt von zwei hyperbolischen Paraboloiden, die mit ihren Konkavitäten vereinigt sind und eine Art Konus oder Pyramide darstellen mit einer in der Projektion rechteckigen Basis. Die Schraubenfläche hatte ein Areal von acht Quadratmeter und sollte sich selbsttätig in die Luft einschrauben. Als Antriebskraft war eine Gasturbine mit vertikaler Achse vorgesehen. Ätherdampf mit Luft gemischt und zur Explosion gebracht, sollte das Turbinenrad treiben. Zur Kühlung sollte Eis dienen. Den Vortrieb besorgte eine dreiflügelige Propellerschraube, die mittels Kegelrädern von der Turbinenachse aus angetrieben wurde. Das Gesamtgewicht des Apparates war auf 170 Kilogramm bemessen, die erforderliche Antriebskraft schätzte Mélikoff auf 4 Pferdekräfte. Die Schraube hätte also einen Auftrieb von über 40 Kilogramm pro Pferdekraft geben müssen. Der Apparat wurde nicht ausgeführt. Es ist kaum wahrscheinlich, daß der projektierte Motor flugfähig gewesen wäre.

Linfield stellte 1878 Versuche an über die Wirkung von übereinandergestellten Schrauben. Neun Schraubenblätter in je 15 Zentimeter Distanz wurden auf einer vertikalen Achse angebracht. Alle Schrauben besaßen zwei schmale Blätter von 0·9 Meter Durchmesser. Unter welchem Winkel immer die Blätter gestellt wurden, es konnte

Digitized by Google

von allen neun kein größerer Hub erzielt werden, als wenn bloß der oberste und unterste Flügel in 1·2 Meter Distanz gestellt wurden. Im gleichen Jahre baute Castel ein großes Modell eines Schraubenfliegers. Der Apparat bestand aus acht zweiflügeligen Schrauben. Je vier waren auf einer gemeinsamen Achse befestigt, die mittels Kegelrädern vom Motor aus ihren Antrieb erhielt. Die beiden Schraubenserien waren nebeneinander zu beiden Seiten des Apparatgerüstes angebracht. Als Antriebskraft diente eine Zweizylindermaschine, die mit komprimierter Luft getrieben wurde. Die Zuleitung der Preßluft erfolgte mittels eines Schlauches. Das Gesamtgewicht des Apparates betrug 22·2 Kilogramm. Davon entfallen nahe 10 Kilogramm auf die Schrauben und den Motor. Jede Schraube hatte einen Durchmesser von 1·2 Meter und wog 0·6 Kilogramm. Der Apparat erhob sich wiederholt und flog einmal gegen die Wand, wodurch er zerschellte.

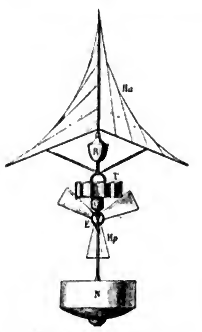


Fig. 108. Schraubenfliegerprojekt von Mélikoff.
Ha Hubschraube, *Hp* Propulsionsschraube, *N* Gondel, *C* Gefäß, in dem die Explosionen des Gemisches von Luft und Ätherdampf erfolgen, *R* Reservoir für den Äther, *T* Reaktionsturbine.

Ein sehr berühmtes Experiment wurde von dem Italiener Forlanini gleichfalls im Jahre 1878 ausgeführt. Er baute einen Schraubenflieger mit zwei zweiflügeligen Schrauben. Die obere Schraube war beweglich, die untere fix und diente bloß zur Aufhebung der Reaktion. Der Antrieb erfolgte durch eine zweizylindrige Dampfmaschine, die durch überhitzten Dampf gespeist wurde. Dieser wurde in einer Hohlkugel erzeugt nach Art der feuerlosen Lokomotiven. Der Anfangsdruck betrug 8 bis 11 Kilogramm pro Quadratzentimeter. Forlanini wollte zuerst den Apparat samt einem Dampfkessel versehen, der durch 200 kleine Alkoholflammen geheizt wurde. Dieser erwies sich jedoch als zu schwer. Die Dampfgeneratorkugel wurde zu $^2/_3$ mit Wasser gefüllt und dann erhitzt, bis der gewünschte Druck erreicht war. Der komplette Apparat wog $3^1/_2$ Kilogramm. Die Gesamtfläche der Schraube war 1·9 Quadratmeter. Auf die Dampfmaschine allein entfielen $1^1/_2$ Kilogramm, die Schrauben wogen $^1/_2$ Kilogramm, die Hohlkugel samt Wasser gefüllt 0·9 Kilogramm. Der Antrieb der Schraubenwelle erfolgte durch zwei Kegelräder unmittelbar von der Motorwelle aus. Der Apparat wurde wiederholt erprobt. Er erhob sich bis zu 13 Meter Höhe und blieb 20 Sekunden lang in der Luft.

Auch der berühmte Erfinder Edison wagte seine Kräfte an die Herstellung eines Schraubenfliegers. Er stellte zahlreiche Versuche mit Hubschrauben an, die durch einen Elektromotor angetrieben wurden. Den Auftrieb bestimmte er mittels einer Wage. Als beste Form ergab sich die zweiflügelige Schraube mit langen schmalen Armen. Ähnliche Experimente führte Dudgeon aus. Er maß den Auf-

Digitized by Google

trieb verschiedener Schrauben, die durch Dampfkraft angetrieben wurden. Über die Ergebnisse der Versuche von Edison und Dudgeon wurde nur wenig publiziert. Edison folgerte aus seinen Studien, daß die Herstellung eines flugfähigen Schraubenfliegers an die Konstruktion eines Motors gebunden sei, der bei einer Leistung von 50 Pferdekräften bloß 40 Pfund (18 Kilogramm) wiege. Man muß daraus den Schluß ziehen, daß die Schrauben Edisons einen sehr geringen Wirkungsgrad besaßen, denn neuere Versuche von Renard, Wellner u. a. haben viel günstigere Ergebnisse geliefert.

Bis in die neueste Zeit wurde vielfach der Versuch gemacht, die Schraube durch einen Ventilator zu ersetzen. Das älteste Projekt eines Ventilatorfliegers scheint das von Ward aus dem Jahre 1878 zu sein. Der Auftrieb sollte durch einen Ventilator mit lotrechter Achse erzielt werden, der Vortrieb durch einen Ventilator mit horizontaler Achse. Der Auftriebsventilator blies also lotrecht nach unten, der Vortriebsventilator horizontal nach rückwärts. Wie schon im vorausgehenden ausgeführt wurde, basiert die Idee der Ersetzung der Schraube durch einen Ventilator auf einer Verkennung der Wirkungsweise beider Mechanismen; denn der beste Ventilator ist derjenige, welcher den kräftigsten Luftstrom erzeugt bei gegebener Antriebskraft, die beste Schraube aber jene, welche den geringsten Luftstrom und den größten Axialdruck erzeugt. Ein guter Ventilator kann also nicht gleichzeitig auch eine gute Schraube geben und ein schlechter Ventilator ist natürlich noch weniger dazu geeignet, große Axialdrücke bei geringer Antriebsarbeit zu erzeugen.

Dieuaide experimentierte 1877 mit einem Schraubenfliegermodell, bestehend aus zwei gegenläufigen vierflügeligen Schrauben. Die Flügel hatten quadratische Form und konnten unter verschiedenen Neigungswinkeln eingestellt werden. Die Antriebskraft wurde durch eine zweizylindrige Dampfmaschine geliefert. Die Dampfzuleitung erfolgte durch einen biegsamen Metallschlauch. Der Apparat wurde auf eine Wage gestellt und so dessen Auftrieb gemessen. Das Ergebnis war nicht sehr günstig.

Giffard konnte mit einer einzelnen Schraube einen Auftrieb von nahe 75 Kilogramm erzielen, bei einer Motorleistung von 6 Pferdekräften; das gibt pro Pferdekraft einen Auftrieb von 12·5 Kilogramm.

Trouvé experimentierte seit 1867 mit Luftschrauben. Er fand, daß das beste Resultat erzielt wird, wenn die Steigung gleich dem Durchmesser, oder ein wenig kleiner ist. Im Jahre 1881 konstruierte Trouvé einen Elektromotor, der weniger als 15 Kilogramm pro Pferdekraft wog. Auf dem wissenschaftlichen Kongreß in Toulouse stellte Trouvé 1888 eine Luftschraube aus, die durch einen sehr leichten Elektromotor angetrieben wurde. Der Motor war ganz aus Aluminium, ausgenommen den Magnetkern. Die Armatur war direkt verbunden mit einer Luftschraube. Diese war geometrisch genau konstruiert nach einem einfachen Verfahren, das Trouvé schon 1886 der Akademie der Wissenschaften in Paris mitgeteilt hat. Die Schraube war auf einen langen Hebel montiert, dessen zweiter Arm durch ein Gegengewicht belastet werden konnte. Die Stromzuleitung erfolgte durch die Achse. Die Schraube lief mit 2400 Touren in der Minute. Der Effekt der

Digitized by Google

Schraube war aber so gering, daß Trouvé nicht daran denken konnte, einen Schraubenflieger flugfähig zu machen. Er projektierte jedoch eine Kaptivschraube, welche einen Beobachter hoch heben sollte und die, wie er meinte, als Ersatz für den militärischen Fesselballon dienen könnte. Die Stromzuleitung für den Elektromotor zum Antrieb der Schraube sollte durch das Kabel erfolgen. Diese Idee der Kaptivschraube wurde von verschiedenen Seiten aufgegriffen und eine Zeitlang mit großem Eifer vertreten. In Österreich arbeiteten Popper und Kress Projekte von Kaptivschrauben aus.

Im Jahre 1895 baute Kress zwei Hubschrauben von 4 Meter Durchmesser. Vermittels einer hohlen Welle waren zwei Schrauben an derselben lotrechten Achse angebracht. Diese war auf einem pyramidenförmigen Gestell gelagert. Die eine Schraube drehte sich nach rechts, die andere nach links. Der äußere Rahmen der Schrauben

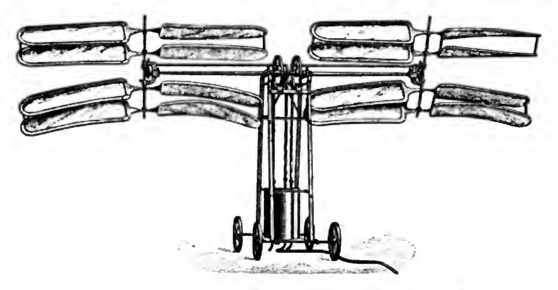


Fig. 109. Schraubenfliegermodell von Castel, 1878.

war aus einem gebogenen Stahlrohre hergestellt, die Rippen aus zusammengeleimten Furnieren. Die Enden der Rippen waren frei und konnten sich deshalb unter dem Druck der Luft nach oben aufbiegen. Der Rahmen wurde mit Ballonstoff überspannt. Im Ruhezustande hingen die Flügel ganz schlapp; sowie aber die Schrauben in Bewegung gesetzt wurden, wölbten sie sich unter gleichzeitiger Anspannung des Ballonstoffes. Die Antriebskraft lieferte ein Elektromotor von Trouvé, der normal $^1/_4$—$^1/_3$ Pferdekraft leistete. Die Fläche der 4 Meter großen Schrauben betrug 4·4 Quadratmeter, sie wogen samt Motor 33 Kilogramm, davon entfielen auf die 4 Flügel je 2 Kilogramm, den Motor 15, das Pyramidengerüst, Hohlwellen und Transmission 10 Kilogramm. Die maximale Tourenzahl der Schrauben betrug 120 in der Minute.

Die von Dr. Wächter im militärtechnischen Komitee in Wien angestellten Versuche ergaben nach den Angaben von Kress folgende Werte für den erzielten Auftrieb und die dazu erforderliche Motorarbeit. Beobachtungen im Zimmer (mit kleineren Schrauben von 3 Meter Durchmesser). Bei 0·51 Pferdekräften 8 Kilogramm, bei 0·64

Digitized by Google

HP. 14 Kilogramm; mit den großen Schrauben von 4 Meter Durchmesser: 10 Kilogramm bei 0·56 Pferdekräften, 16 Kilogramm bei 0·62 HP. Im Freien (großer Hof) mit den großen Schrauben: 15 Kilogramm bei 0·39 Pferdekräften und 17 Kilogramm bei 0·43 HP. Der Versuchsraum war 3·8 Meter hoch und 6 Meter breit. Bis zu den Wänden und zum Plafond blieb bloß zirka 1 Meter freier Raum. Kress berechnet auf den oben angegebenen Werten unter der Voraussetzung einer direkten Proportionalität zwischen Auftrieb und Antriebskraft den Auftrieb pro Pferdekraft und kommt so zu Werten von 26 bis 40 Kilogramm Auftrieb pro eine Pferdekraft. In meinem Referate über die „Aviatik“ von Kress in den Ill. Aeronautischen Mitteilungen habe ich bereits darauf aufmerksam gemacht, daß diese Art der Berechnung unzulässig ist, da ja eine proportionale Zunahme des Auftriebes mit der Motorarbeit nicht stattfindet. Die derart herausgerechneten Ziffern haben deshalb keine reale Bedeutung, sie sind, wenn man ihre Herleitung nicht kennt, direkt irreführend.

Kress projektierte auch eine Kaptivschraube zum Hochheben eines Mannes. Die zwei Luftschrauben sollten einen Durchmesser von zirka 10 Meter erhalten mit einer Flügelfläche von 50 Quadratmeter. Der Motor sollte 20 Pferdekräfte leisten, um 450 bis 500 Kilogramm zu heben. Ohne Fesselkabel und ohne Bemannung war das Gewicht der Kaptivschraube auf 325 Kilogramm präliminiert. Die Kaptivschraube stellt einen Schraubenflieger dar, der durch ein Kabel daran gehindert wird, vom Winde abgetrieben zu werden. Sie soll den Fesselballon ersetzen.

Neuere Studien über Schraubenflieger und Versuche mit großen Hubschrauben. Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, daß man zur Erzeugung des erforderlichen Auftriebes eines Schraubenfliegers meist eine oder zwei entsprechend große Schrauben verwendete. Jarolimek stellte 1894 auf Grund eingehender theoretischer Studien den Satz auf, es sei zweckmäßiger, sehr kleine Schrauben mit möglichst geringer Neigung und sehr großen Geschwindigkeiten zu nehmen und diese in der notwendigen Anzahl an Spindeln anzuordnen. Er meint, den Neigungswinkel der Flügel auf ein Grad herabdrücken zu können. Die Geschwindigkeit soll bis auf 78 Meter in der Sekunde gesteigert werden. Um einen Menschen zu tragen, wäre ein Apparat von 19 Quadratmeter Fläche und ein Motor von 4·5 Pferdekräften nötig. Das Gesamtgewicht des Apparates wird mit rund 250 Kilogramm berechnet; davon entfallen 170 Kilogramm auf den Apparat und 80 Kilogramm auf den Flieger. Bei der Tragkraft eines Schraubenflügels von 0·8 Kilogramm wären rund 150 Flügelpaare nötig. Diese könnten zu je 25 auf 6 vertikalen Spindeln angeordnet werden. Die Flügelgröße wäre 0·06 Quadratmeter, also ungefähr so groß wie die Tragfläche der Saatkrähe oder des Taubenhabichtes. Jarolimek meint, es wäre nicht möglich, bei unseren Flugapparaten bis zu Flügelgrößen wie jene der Adler und Geier (0·4 Quadratmeter) zu gehen, wegen des geringen Einheitsgewichtes derselben, das 0·75 Kilogramm pro Quadratmeter beträgt. Bei der Saatkrähe ist das Einheitsgewicht gar nur 0·75 Kilogramm pro Quadratmeter, während wir es kaum unter 3 Kilogramm herunterbrächten. Die Schrauben sollen so gebaut

Digitized by Google

sein, daß ihre Neigung an der äußersten Peripherie geradezu gleich Null ist und die Steigung gegen die Achse zu nur so zu bemessen wäre, daß ihre Wirkung in Verbindung mit der etwas gegen den Vorderrand gerückten Versteifung des Flügels die richtige Einstellung bei seiner normalen Rotationsgeschwindigkeit gestattet. Die Flügel sollen schmal sein und die Druckvergrößerung darf nicht durch Vergrößerung der Fläche, sondern soll durch Vermehrung der Flügelzahl erreicht werden. Die Flügel sollen aus glattem Stahlblech angefertigt werden, das bei hinreichender Festigkeit sehr dünn gehalten werden kann und die Luft ohne merkliche Reibung durchschneidet. Jarolimek findet, daß es aus Festigkeitsrücksichten nicht angehe, steife Flächen von großen Dimensionen mit einem gleich kleinen Gewicht pro Flächeneinheit herzustellen als kleine Flächen und meint, dies sei auch der Hauptgrund, weshalb unter den Luftbewohnern überhaupt nicht Tierkolosse sich ausbilden konnten, wie solche die Oberfläche der Erde und die Tiefen des Meeres beherbergen. Er spricht deshalb auch seinem

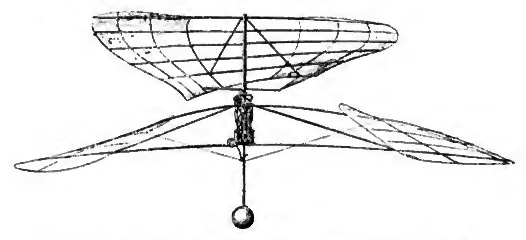


Fig. 110 A. Schraubenfliegermodell von Forlanini. 1872.
Oberes Flächenpaar bildet die Hubschraube, unteres Flächenpaar dient zur Aufhebung der Rotation des Apparatrumpfes.

„Gliederungsprinzip" eine große Bedeutung für die Flugtechnik zu. Jarolimek versteht darunter „die Zerlegung eines großen Apparates in viele kleine unter einander gleichartige Elemente und Vereinigung der letzteren zu einem organischen Ganzen". Das Gliederungsprinzip scheint in der Tat dazu berufen in der Technik des Schraubenfliegers noch eine große Rolle zu spielen, wenn auch in einem weniger extremen Sinne. Es liegt wohl ein Rest von falschem Naturalismus darin zu meinen, es würde der Technik nicht gelingen, Flügelflächen mit demselben Einheitsgewichte konstruieren zu können, wie die Flügel der größten Vögel, wenn dies vielleicht augenblicklich auch nicht der Fall sein mag. Man darf nur nicht gleich den Mut verlieren.

Ausgedehnte und wertvolle Untersuchungen über Hubschrauben wurden in neuerer Zeit von Wellner ausgeführt, zunächst mit kleinen, später auch mit sehr großen Schrauben. Im Jahre 1895 baute Wellner zwei große Schrauben von 6 Meter Durchmesser. Die eine war rechts-

Digitized by Google

gängig und mit Ballonstoff überzogen, die andere linksgängig und mit Aluminiumbeschlag. Beide waren zweiflügelig, das Gerippe gleich groß und ganz gleichartig gebaut. Die größte Breite war 4·4 Meter. Die Fläche betrug ursprünglich 13·5 Quadratmeter, sie wurde allmählich auf 5·2 Quadratmeter vermindert. Die Schraube war vom Normaltypus der orthogonalen Schraubenflächen. Die Versteifung bestand zunächst aus acht radialen Holzrippen, welche wie die Stufenkanten einer kreisrunden Wendeltreppe horizontal und fächerförmig übereinander standen. Die Schraubenganghöhe hatte an allen Stellen für den Vollkreis verlängert den konstanten Wert 1·1 Meter. Die Steigungswinkel der Schraube nehmen demgemäß von innen nach außen mit dem Abstande von der Achse regelmäßig ab und die spiralig geführte Umrißlinie senkte sich von der Nabe bis zur Flügelspitze um den vertikalen Abstand von 0·5 Meter. Das Gerippe war oben und unten mit Ballonstoff, beziehungsweise mit Aluminiumblech von 0·2 bis 0·3 Millimeter Stärke überspannt. Das Gewicht der rechtsläufigen Schraube war 47·1, das der linksläufigen 59·3 Kilogramm. Die Herstellung des Gerippes erfolgte in der Weise, daß an ein eisernes Mittelstück Rippen aus Ulmen-, Eschen- und Spitzahornholz angesetzt wurden. Die Armstäbe hatten rechteckigen Querschnitt und waren entsprechend windschief verdreht.

Die Schrauben waren mit vertikaler Achse auf einem Blockgerüste montiert. Die nach unten verlängerte Achse stand auf einer Dezimalwage, so daß der Auftrieb unmittelbar gewogen werden konnte. Die Tourenzahl konnte von 60 auf 160 in der Minute gesteigert werden. Als Antriebskraft diente ein 4pferdiges Lokomobil. Die Geschwindigkeit der Flügelspitzen erreichte bei der maximalen Tourenzahl 50 Meter pro Sekunde. Bei 140 bis 160 Touren ergaben sich 48 und 60 Kilogramm Auftrieb bei einer Antriebsarbeit von 1·9 bis 2·5 Pferdekräften. Die Aluminiumfläche war der Ballonstofffläche entschieden überlegen. Durch Wegnahme von 4 Rippen wurde die Flügelfläche auf 7·4 Quadratmeter verkleinert, trotzdem trat keine Herabminderung des Auftriebes bei gleicher Tourenzahl ein. Ja bei Tourenzahlen bis zu 130 trat sogar eine entschiedene Vermehrung des Auftriebes ein. Wellner zieht aus seinen Untersuchungen folgende Schlüsse: Horizontal umlaufende Luftschrauben eignen sich wegen der Einfachheit ihres Gefüges und wegen des technisch praktischen Betriebes für die Schaffung dynamischer Hebekraft zu Zwecken der Herstellung von Flugmaschinen sehr gut. Die Anwendung zweier Schraubenflügel ist am günstigsten, weil sie in bequemer Weise die sorgfältigste Symmetrie und Gewichtsverteilung ermöglichen. Die Dreizahl wurde zwar eine gleichförmigere Kraftwirkung im Kreise liefern, dagegen eine schwierigere und schwerere Bauart bedingen. Die Flügel sollen in radialer Richtung lang sein und so schmal, daß sie an ihrer breitesten Stelle kaum ein Zehntel des Kreisringes bedecken, weil sie dadurch einen kräftigen Auftrieb liefern. Die ovale Libellenflügelform mit schön gerundeten Spitzen kann als zweckmäßig gelten. Die Vorderseite und die der Schraubenachse näherstehenden Partien sollen stärker und kräftiger sein, als die rückwärtigen und die nach außen liegenden. Die tragenden Armstangen und Rippen, von der Mitte ab hochkantig gegen das Flügelende flach auslaufend, sind radial zu stellen, damit sie gegen die Fliehkraft-

Digitized by Google

wirkung gesichert seien. Der Neigungswinkel der Schraube, von innen nach außen abnehmend, soll klein sein, im Druckmittelpunkte etwa nur 3 bis 5 Grad betragen, damit eine rasche Umlaufsbewegung und ein ökonomischer Arbeitsaufwand möglich werde. Sowohl die Ober- als auch die Unterseite der Flügelflächen soll vollkommen glatt, steif und fest sein. Die Vorderkante, der Außenrand, insbesondere aber auch die auslaufende Schlußkante sollen zugeschärft sein, um die Luftreibung und den Stirnwiderstand zu verringern und das Anschmiegen der entlang streichenden Luftteilchen zu begünstigen. Zum Zweck von Vorversuchen eignet sich hartes, astfreies Holz ziemlich gut, weil sich dasselbe gut bearbeiten, leicht auf die passende Form bringen und zusammenfügen läßt und dabei dennoch eine verhältnismäßig große Festigkeit und Zähigkeit besitzt. Wegen der Feuergefährlichkeit des Holzes und dessen geringer Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse jedoch müßte bei Schrauben für Flugzwecke zu Stahlmaterial gegriffen werden.

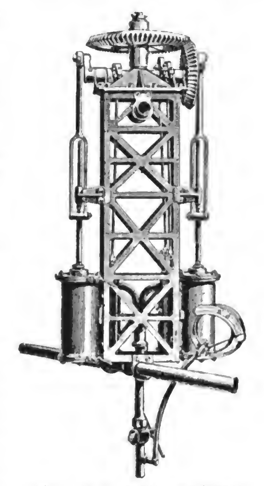


Fig. 110 B. Schraubenfliegermodell von Forlanini.
Details des Antriebsapparates.

Zur Deckung des Schraubenflügelgerippes können dünne Blechtafeln aus Aluminium oder Aluminiumbronze genommen werden, doch dürften hiefür auch bessere Webstoffe mit Drahtgeflecht als Einlage genügen.

Auf Grundlage der im Jahre 1895 gewonnenen Erfahrungen konstruierte Wellner eine neue Schraube von leichterer Bauart, kleiner an Dimensionen und für rascheren Umlauf bestimmt. Das Gerippe bestand aus 7 diametral laufenden Ulmenstäben, die in der Mitte flach übereinander gelegt und durch eine obere Kappe sowie durch Holzschrauben fest zusammengehalten wurden. Diese Rippen saßen auf einem kurzen Stahlrohr, worin vier quer hindurch gesteckte, in die Hölzer eingepaßte Röhrchen die Mitnahme des Flügelrades bei der Drehung vermitteln. Jeder einzelne Stab hat eine entsprechende Profilierung und Stärke, ist von der Mitte ab hochkantig schief gestellt und gegen die Enden flach auslaufend gebaut. Der erste und der letzte Stab, deren Mittellinien um 60 Grad auseinanderstehen, besitzen zugeschärfte Außenkanten. Drei Bogenleisten sowie die Randhölzer, deren Verzapfungen eine Sicherheit gegen die Fliehkraftswirkung liefern, versteifen das Gerippe. Der größte Durchmesser des Doppelflügels betrug 4·2 Meter, die größte Breite 1·2 Meter. Die abgewickelte Schraubenfläche war 3·5 Quadratmeter.

Digitized by Google

Die Steigungshöhe der Schraubenfläche ist für alle Stellen gleich groß, nämlich für einen Zentriwinkel von 60 Grad 180 Millimeter, also für den ganzen Kreis 1·1 Meter. Die Schraubenflügel waren löffelförmig, bis ungefähr zum halben Radius mit geraden Außenkanten, die dann flach elliptisch zugerundet wurden. Die Aluminiumbleche zur Deckung der oberen und unteren Seite der Flügelflächen hatten 0·25 Millimeter Stärke und wurden gefalzt, dann durch Kupferösen zusammengenietet. Das Gewicht der Schraube betrug 25 Kilogramm. Die neue Schraube ergab viel günstigere Wirkungen als die beiden älteren Konstruktionen. Es konnte ein maximaler Auftrieb von 71 Kilogramm erzielt werden bei einer Antriebsarbeit von 4 bis 5 Pferdekräften. Das gibt pro Pferdekraft einen Auftrieb von rund 15 Kilogramm. Die maximale Tourenzahl betrug 314 in der Minute. Bei dieser Tourenzahl erreichte die Umlaufsgeschwindigkeit der äußersten Flügelpunkte den Betrag von fast 67 Meter in der Sekunde. Der Aluminiumblechbelag, sowie das Holzgefüge des Schraubengerippes blieben während der Experimente vollständig fest und sicher. Wellner hat die Ergebnisse seiner Schraubenstudien ausführlich publiziert in der Zeitschrift des Österr. Ing. und Arch. Vereines Wien, 1894 und 1896, und in der Zeitschrift für Luftschiffahrt, Berlin 1897. Bezüglich aller weiteren Details muß auf diese Arbeiten verwiesen werden.

In neuester Zeit wurden von Léger Versuche mit großen Schrauben angestellt, die sich durch den hohen Betrag des erzielten Auftriebes auszeichnen. Sie sollten als Vorstudien dienen für das Projekt eines Schraubenfliegers zum Heben eines Menschen. Der Apparat besteht aus zwei koaxialen Schrauben, die knapp übereinander gelagert sind und gegenläufig rotieren. Beim Aufstieg sollte die Schraubenachse lotrecht stehen, zur Erzielung des Vorwärtsfluges sollte sie umgelegt werden. Der Apparat wurde in ein halb der natürlichen Größe ausgeführt. Die Schraube ist aus Aluminiumblech, hat einen Durchmesser von 6·2 Meter und eine größte Breite von 1·7 Meter. Der Apparat wiegt komplett 85 Kilogramm. Bei den Versuchen wurde ein Ballast von 25 Kilogramm zugelegt, so daß das Gesamtgewicht 110 Kilogramm betrug. Die Bewegung wurde vom Motor auf die Schraube durch eine Welle mit Doppelkardangelenk übertragen. Bei einer Leistung von 6 Pferdekräften hob sich der Apparat frei ab. Der Ballast wurde dann auf 50 Kilogramm vergrößert. Bei einem Antrieb von 10 Pferdekräften hob sich der Apparat so brüsk ab, daß die 8 Schnüre, die ihn am Boden hielten, mit einem Ruck zerrissen wurden. Die Belastung wurde allmählich bis auf 100 Kilogramm gesteigert. Bei 12 Pferdekräften hob sich der Apparat ab. Der gesamte Auftrieb erreichte also den Betrag von 185 Kilogramm. Das gibt pro Pferdekraft 15·4 Kilogramm. Bei der Belastung von 110 Kilogramm entfällt auf eine Pferdekraft 18·3 Kilogramm, also um 3 Kilogramm mehr. Bei der Belastung von 135 Kilogramm ergäbe sich ein spezifischer Auftrieb von 13·5 Kilogramm. Da aber der Apparat, wie es heißt, sehr brüsk aufstieg, muß der Auftrieb wohl erheblich größer gewesen sein. Die angegebenen Zahlenwerte lassen erkennen, daß die Schrauben von Léger jedenfalls einen erheblichen Fortschritt gegenüber allen bisher erprobten

Digitized by Google

bedeuten, sowohl hinsichtlich der absoluten Werte der erzeugten Auftriebskräfte als auch bezüglich der pro Pferdekraft erhaltenen Auftriebszahlen. Wenn man sich vor Augen hält, daß eine Auftriebskraft von 185 Kilogramm durch rein dynamische Mittel erzielt wurde, zu deren Erzeugung ein Wasserstoffkugelballon von nahe 7 Meter Durchmesser nötig wäre, so wird man das Imponierende der Leistung von Léger richtig einschätzen. Es soll nun ein großer Schraubenflieger gebaut werden mit einem Gesamtauftrieb von 800 Kilogramm. Davon werden auf den hundertpferdigen Benzinmotor 200 Kilogramm und ein Mann Besatzung 75 Kilogramm entfallen; es bliebe also noch ein Rest von 525 Kilogramm für die Schrauben, das Gerüst und Speisematerial für den Motor.

Mit einem großen manntragenden Schraubenflieger experimentiert Bréguet seit 1907. Der Apparat hat ein Traggerüst aus Rohrkonstruktion in der Form eines Andreaskreuzes. Auf den vier Armen sind je zwei Paare von zweiflügeligen Duplexschrauben (zwei Blätter übereinander gestellt) aufmontiert. Der Antrieb erfolgt von einem im Zentrum aufgestellten 40 pferdigen Motor. Die 32 Schraubenblätter besitzen eine Fläche von 26 Quadratmeter. Das Gesamtgewicht des Apparates beträgt 578 Kilogramm. Die ersten Versuche erfolgten am 24. August 1907. In einem Berichte an die Pariser Akademie teilt Bréguet mit, daß der Apparat sich vom Boden abgehoben habe. Bei späteren Versuchen gelang es auch bis zu $1\,{}^1/_2$ Meter hoch aufzusteigen. Als Auftrieb pro Pferdekraft Motorleistung folgt 22·2 Kilogramm. Wenn die angegebenen Zahlen zutreffend sind, wäre der spezifische Auftrieb größer als bei allen bisher erprobten Konstruktionen. Besonders bemerkenswert wäre auch die erhebliche Größe des dynamisch gehobenen Gewichtes. Für eine praktische Verwertbarkeit erscheint indes die ganze Konstruktion doch viel zu „filigran“ und zu wenig robust. Es endigte auch bisher beinahe jeder Versuch mit einem Apparatbruche.

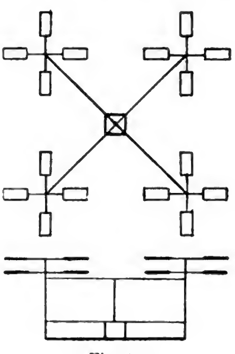


Fig. 111.
Schraubenflieger von Breguet.
Acht Paare koaxialer, vierflügeliger Schrauben an Andreas-kreuzartigem Gestell fixiert.

Weitere Entwicklung des Schraubenfliegers. Beziehungen zwischen Schrauben- und Drachenflieger. An der Möglichkeit der Herstellung eines flugfähigen Schraubenfliegers kann natürlich kein Zweifel mehr sein. Es scheint jedoch unrationell zu sein, zur Auftriebserzeugung ein einziges Schraubenpaar zu verwenden. Mit der Vergrößerung der Schrauben wachsen nämlich die technisch konstruktiven Schwierigkeiten erheblich und dürfte auch der Nutzeffekt der Schrauben sinken. Der Hauptgrund aber liegt darin, daß es schon aus Sicherheitsgründen nicht zweckmäßig ist, die

Digitized by Google

gesamte Last durch ein einziges Schraubenpaar zu kompensieren. Es scheint deshalb, daß die Auflösung in eine größere Anzahl von organisch verbundenen Einheiten im Sinne des Gliederungsprinzipes von Jarolimek die rationellste Anordnung für den Bau eines Schraubenfliegers ist. Man wird zweckmäßig mehrere Schraubenpaare mit unabhängigen Antriebsmotoren wählen. Die Teilung braucht freilich nicht so weit zu gehen, als Jarolimek noch annehmen zu müssen glaubte. Eine allzuweit gehende Teilung dürfte im Gegenteile sogar wieder von Nachteil sein. Jarolimek rechnet noch mit einem Motorgewicht von 25 Kilogramm pro Pferdekraft und meint, die Herstellung eines Motors von 6 Kilogramm pro Pferdekraft werde „selbstverständlich niemals möglich sein". Nun werden heute Motore fabriksmäßig erzeugt, die nicht mehr als ein Kilogramm pro Pferdekraft wiegen bei einer Leistung von 100 Pferdekräften. Damit hat sich also der Geltungsbereich der von Jarolimek gefundenen Zahlenwerte wohl auch erheblich verschoben. Diese Bemerkung wurde angefügt, um zu zeigen, wie die Entwicklung der Motortechnik im letzten Jahrzehnt die kühnsten Hoffnungen der Techniker weitaus übertraf. Was vor einem Jahrzehnt noch als unmöglich galt, ist heute zur vollendeten Tatsache geworden. Es ist darum auch die alte Streitfrage, ob der Drachenflieger oder der Schraubenflieger die zweckmäßigere Flugmaschinentype darstelle, gegenstandslos geworden. Jede der beiden Typen hat ihre spezifischen Vorteile und Nachteile. Der Drachenflieger kann sich ohne Anlauf nicht erheben, er kann aus dem engen Hofe eines Hauses nicht aufsteigen und braucht auch zum Landen freien Raum. Der Schraubenflieger kann von jedem beliebigen Platze aus senkrecht aufsteigen und kann überall landen. Der Drachenflieger arbeitet ökonomischer als der Schraubenflieger, er kann also bei gleicher Motorleistung größere Lasten befördern und vermag auch höhere Geschwindigkeiten bei gleicher Antriebsarbeit zu erzielen. Damit ist zugleich der Verwendungsbereich beider Arten von Luftvehikeln gegeben. Dem Drachenflieger wird man für den Fernverkehr, dem Schraubenflieger für den Nahverkehr mit vielen Zwischenlandungen den Vorzug geben. Für den Verkehr durch die Luft im Weichbilde einer Stadt ist nur der Schraubenflieger geeignet, er kann von jedem Platz aus, selbst vom engen Lichthofe eines Hauses aus, sich erheben und auch überall niedergehen. Der Drachenflieger vermag nur von einem ebenen freien Terrain aus aufzusteigen und zu landen. Gleichwie es sinnlos wäre zu fragen, ob der Wagen oder der Schlitten ein besseres Translationsmittel ist, darf man auch nicht die Frage stellen ob der Schrauben- oder der Drachenflieger das bessere Luftvehikel darstelle. Wie es auf den Zustand der Unterlage ankommt, ob man dem Wagen oder dem Schlitten den Vorzug geben wird, spielt der Landungs- und Aufstiegsort bei der Fortbewegung durch die Luft eine wesentliche Rolle. Will man überall landen und von jedem beliebigen Orte aufsteigen können, dann wird man einen Schraubenflieger wählen, handelt es sich bloß um möglichst rasche und ökonomische Translation, dann wird man dem Drachenflieger den Vorzug geben. Ich spreche hier vom Schrauben- und Drachenflieger, als ob ihrer schon Hunderte in Verwendung wären!

Digitized by Google

Die Schwingenflieger.

Geschichtliches.

Die ältesten Studien und Versuche mit Schwingenfliegern.

Im dreizehnten Jahrhundert schon tritt der englische Mönch Roger Baco für die Möglichkeit der Herstellung von Flugmaschinen ein. In einem seiner berühmtesten Werke „De secretis operibus artis et naturae" schreibt er: „Man kann Boote herstellen, die im Wasser ohne Ruder sich bewegen, große Boote, geleitet durch einen einzigen Mann und die mit größerer Geschwindigkeit fahren als jene, welche durch eine Schar von Matrosen geführt werden. Endlich kann man Maschinen zum Fliegen bauen, in denen Menschen sitzend oder suspendiert im Zentrum, indem sie irgendeine Kurbel drehen, die Flügel in Bewegung setzen, die dazu dienen, die Luft zu schlagen an Stelle jener der Vogelflügel." Ein wenig später beschreibt er, gleichsam um seine Idee zu bekräftigen, eine „fliegende Maschine", welche einige Beziehung zum Apparate von Blanchard zeigt, von dem im folgenden die Rede sein wird. Roger Baco gilt als einer der Begründer der modernen Naturwissenschaft. Er eiferte gegen das Studium aristotelischer Schriften, die im Zeitalter der Scholastik als der Born aller Naturerkenntnis galten. Baco betonte gegenüber der scholastischen Methode, nur durch das Experiment könne man sich in der Naturerkenntnis vor Irrtümern bewahren. Wir dürfen also die prophetischen Worte Bacos über das Fliegen nicht als bloße Spielereien eines phantastischen Kopfes ansehen, sondern als Ausblicke eines genialen Mannes, der einen tiefen Blick in die Natur getan hat. Von Baco wurde mehr als sechs Jahrhunderte, bevor dessen Realisierung möglich wurde, die Idee des ballonfreien Menschenfluges klar ausgesprochen, er gab auch bereits ein Konstruktionsdetail an, dessen Bedeutung erst in neuerer Zeit erkannt wurde. Von Dädalus und Ikarus bis in das achtzehnte Jahrhundert versuchten alle Experimentatoren mit Schwingenfliegern die unmittelbare Kopierung des Flugapparates der Vögel. Die Schwingen wurden mit den ausgestreckten Armen auf- und niedergeschlagen oder mit den Füßen in Bewegung gesetzt. Baco will die Schwingen mittels einer Kurbel betätigen, also nicht unmittelbar, sondern durch Zwischenschaltung einer Vorrichtung, die eine dem Bau des Menschen angemessenere Arbeitsleistung ermöglicht, als dies bei der schwingenden Armbewegung der Fall ist.

Um die Mitte des fünfzehnten Jahrhunderts stellte der berühmte Mathematiker Johann Müller aus Königsberg, genannt Regiomontanus, nach einer recht konfusen Tradition bemerkenswerte aviatische Apparate her, eine Fliege und einen Adler „aus Eisen", die angeblich frei in der Luft flogen. Der Adler wurde König Friedrich IV. fliegend vorgeführt. Er soll in der Umgebung Nürnbergs eine Distanz von 500 Meter durchflogen haben und dann zu seinem Ausgangspunkte zurückgekehrt sein. Infolge des Mangels an zuverlässigen Dokumenten ist es schwer zu entscheiden, was von diesen Apparaten zu halten ist.

Besondere Bedeutung gebührt den flugtechnischen Studien Leonardo da Vincis. Unter den Manuskripten, die in der National-

Digitized by Google

bibliothek in Paris aufbewahrt werden, befindet sich das Fragment einer Schrift über den Vogelflug. Leonardo stellt fest, daß der Vogel, da er schwerer als die Luft ist, sich in ihr erhält und vorwärts bewegt, indem er „diese Flüssigkeit dichter macht, dort, wo er passiert, als dort, wo er nicht passiert“. Er hat sich auch klar gemacht, daß das Tier, um zu fliegen, seinen Stützpunkt auf der Luft nehmen muß. Der geniale Künstler und Naturforscher hat bereits den großen Einfluß der Geschwindigkeit auf die Suspension erkannt. Über die eigentlichen flugtechnischen Studien orientieren uns die Zeichnungen, welche sich in den Manuskripten im Museum von Valencia finden. Nach diesen Skizzen hat Leonardo einen Apparat konstruiert oder projektiert, der durch die Kraft des Menschen betätigt werden sollte. Nachdem er den Vogelflug mit einer staunenswerten Feinheit der Beobachtung studiert hatte, fand er, daß die direkte mechanische Kopierung des Vogelflügels zu schwierig sei, und er suchte deshalb den Fledermausflügel nachzubilden. Leonardo erkannte auch als Maler sogleich, daß die Armmuskulatur zu schwach ist für eine kräftige Flügelbewegung. Diese sollte deshalb durch die Streckmuskel der Beine erfolgen. Die erste Skizze zeigte, wie er sich dies dachte. Auf der zweiten sehen wir die Details der Flügelbewegung. Der Körper ruht auf einem Gerüste, bestehend aus einer Längs- und einer darauf senkrecht stehenden Querstange mit zwei schrägen Verspreizungen. In der Mitte der Querstange sind die Befestigungen für die Flügelenden angebracht, bestehend in einem System von Ringen. Die Füße des Fliegers ruhen in einer Art Steigbügel, die Unterarme werden unter die Querstange gelegt und mit den Händen hält der Flieger zwei Hebelstangen mit einem Handgriff, mittels deren die Flügelhebung erfolgt. Von den Steigbügeln laufen Schnüre über zwei an den Enden der Querstange des Traggerüstes angebrachte Rollen, und von dort zu den Befestigungspunkten an den Flügeln. Durch rasches Ausstrecken der Beine erfolgt, wie man sieht, ein Flügelschlag.

An der Längsstange ist ferner auch noch ein horizontales Steuer angebracht. Weitere Skizzen zeigen Vorrichtungen zur teilweisen Zusammenfaltung der Flügel beim Hub. Die Faltung erfolgt durch ein System von Rollen, Hebeln und Schnüren. Man erkennt in der Konstruktion sofort die Hand des Künstler-Anatomen, der eine technische Nachbildung der Fingergelenke des Fledermausflügels versucht. Die Anordnung wäre praktisch ohne Schwierigkeit durchführbar. Leonardo bleibt aber bei der bloßen Kopierung der Natur nicht stehen. Es fällt ihm sofort etwas Besseres ein. Auf einer zweiten Skizze sehen wir, wie er die Ausbreitung des Flügels durch eine Blattfeder (spanisches Rohr) besorgen läßt. Diese erfolgt deshalb automatisch, und statt zweier Schnüre genügt für jeden Flügel jetzt eine einzige Schnur für die Faltung. Die Ausbreitung beim Schlag erfolgt nun automatisch durch bloße Lockerung der Zugschnüre. Damit ist also Leonardo durch bloßes Experimentieren in Gedanken sofort zu einer Konstruktion gelangt, die das „System der Natur“ an Zweckmäßigkeit übertrifft (wenigstens bezüglich dieses einen Punktes). Eine weitere Skizze zeigt die Anwendung metallischer Scharniere. Auf einer folgenden Zeichnung sehen wir eine Anordnung, um abwechselnd immer

Digitized by Google

ein Bein zum Niederschlag, das andere zum Hub zu verwenden. Der Tritt des rechten Fußes hebt den Flügel und beugt gleichzeitig mittels einer Rolle dessen Glieder, der linke Fuß führt den Flügelschlag aus, wobei er die Fingerglieder freiläßt, die sich automatisch ausbreiten. Diese Idee, die jedenfalls minderwertig ist gegenüber der früheren, wurde auch von Leonardo wieder aufgegeben. Eine weitere Skizze zeigt uns ein großes fliegendes Boot, wo mehrere Menschen, an Hebeln arbeitend, riesige Flügel in Tätigkeit setzen. Damit ist der große Forscher einen zweiten Schritt von der bloßen Naturkopierung abgewichen. Er hat an die Stelle des persönlichen Kunstfluges des einzelnen Menschen die kühne Idee der Gesellschaftsflugmaschine gesetzt.

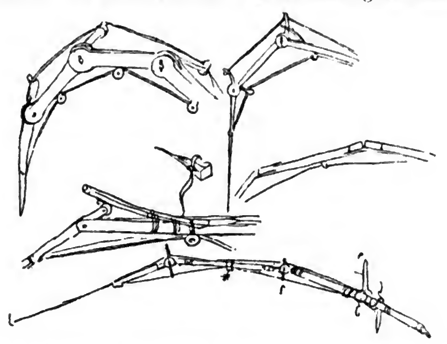


Fig. 112 A. Skizzen der Flügelgelenksmechanik von Leonardo da Vinci.

Dabei mag ihn vielleicht der Gedanke geleitet haben, daß die Art der Arbeitsleistung des auf dem Traggerüst liegenden Menschen doch recht unökonomisch und unbequem sein muß. Wir haben schon gesehen, daß Leonardo auch die Schraube erfunden und das Projekt eines großen Schraubenfliegers aufgestellt hat. Bei der Beurteilung der flugtechnischen Leistungen Leonardos müssen wir uns vor Augen halten, daß diese Arbeiten nahezu vier Jahrhunderte zurückdatieren. Bis Anfang des neunzehnten Jahrhunderts ist über Leonardo hinaus kein Fortschritt zu verzeichnen. Auf die Entwicklung der Flugtechnik konnten die grundlegenden Studien Leonardos freilich keinen Einfluß nehmen, da ja dessen Manuskripte zum Teil erst in der neuesten Zeit publiziert wurden. Wenn die zum Teil recht naiven Projekte und Versuche vom siebzehnten bis zum Anfang des neunzehnten Jahrhunderts im folgenden ausführlicher besprochen werden, so geschieht dies hauptsächlich der Vollständigkeit halber. Es ist schließlich ja auch entwickelungsgeschichtlich recht interessant zu sehen, auf welchen Wegen und mit welchen Mitteln man die Lösung des Problems des ballonfreien Menschenfluges zu erzwingen suchte.

Digitized by Google

Unter der Regierung Ludwig XIV. produzierte sich um das Jahr 1660 ein Seiltänzer namens Allard vor dem König. Er zeigte an, daß er von der Terrasse zu Saint Germain gegen den Wald von Vesinet fliegen werde. Er stürzte nahe der Terrasse nieder und verletzte sich schwer.

Im Journal de Scavans erschien im Jahre 1678 ein Artikel, der eine Erfindung des Schlossers Besnier beschreibt. Dieser hatte eine Flugmaschine konstruiert und versuchte sie auch mit einem gewissen Erfolge. Der Apparat bestand aus zwei Stangen, die über die Schultern gelegt wurden. An den Enden war je ein Flügel angebracht. Die in dem Artikel vorliegenden Zeichnungen sind so naiv, daß sie sicher falsch sein müssen.

Im Jahre 1742 kündigte der damals schon 60 Jahre alte Marquis von Bacqueville an, daß er an einem bestimmten Tage von seinem Haus die Seine überfliegen und im Tuileriengarten landen werde. Am festgesetzten Tage strömte eine ungeheure Menschenmenge zu den Ufern der Seine, den Marquis fliegen zu sehen. Dieser sprang mit seinem Flügelapparat von einer Terrasse ab. Eine kurze Strecke ging alles gut, der kühne Flieger nahm seine Richtung gegen den Tuileriengarten. Als er schon mehr als 150 Toisen (ca. 300 Meter) zurückgelegt hatte, wurden seine Bewegungen plötzlich unsicher. Man sah, daß der Marquis seine Bewegungen einstellte und schwer gegen das Dach eines Wäscherinnenbootes in der Seine niederstürzte. Durch die großen Flügel wurde der Fall erheblich gebremst und der Marquis kam mit einem gebrochenen Bein davon. Falls die Berichte den Tatsachen entsprechen, wäre die große Flugweite immerhin eine sehr erhebliche Leistung. Die überlieferte Zeichnung, welche den Marquis mit vier schildförmigen, an den Händen und Füßen angebrachten kleinen Flächen zeigt, scheint das Werk eines Spottvogels zu sein, sie ist jedenfalls ganz unzutreffend. Bei der Unvollkommenheit der überlieferten Berichte ist es nicht möglich, ein Werturteil über die Arbeiten der bisher erwähnten flugtechnischen Idealisten abzugeben. Dasselbe gilt für die Versuche des Abbé Desforges aus dem Jahre 1772. Dieser hatte einen Flugwagen konstruiert mit Flügelantrieb. Die Erprobung fand in Etampes statt. In dem Berichte eines Anonymus heißt es: „Der Kanonikus nahm in der Tat in seinem Flugwagen Platz und setzte die Flügel in Bewegung. Aber es schien den Zuschauern, daß, je kräftiger er diese bewegte, um so mehr die Maschine gegen den Boden gedrückt würde, als wollte sie sich mit diesem identifizieren.“ Der boshafte Berichterstatter meint, Desforges hätte vielleicht einen Erfolg erzielt, wenn er die Mechanik der Flügel geändert hätte. Der Abbé entwarf später das Projekt eines Apparates, der zwei Personen tragen sollte. Der Führersitz sollte senkrecht über dem Platze des Mitfahrers angebracht sein. Versuche scheinen nicht stattgefunden zu haben.

Der berühmte Luftschiffer Blanchard war bis zur Erfindung des Luftballons ein eifriger Flugtechniker. Er wird auch den ersten Pionieren des Automobilismus beigezählt; Blanchard hat in der Tat einen Wagen ohne Pferde konstruiert, der durch Flügel angetrieben wurde und sich bei verschiedenen Gelegenheiten, am Platze Ludwig XIV. und in der

Digitized by Google

Avenue des Champs Elysées zu sehen war. Im Journal de Paris veröffentlichte Blanchard 1781 die Beschreibung seiner Flugmaschinenkonstruktion. Diese bestand im Wesen aus vier Flügeln von je drei Meter Länge, die zusammen einen Schirm von sieben Meter Durchmesser bildeten. Die Flügel waren auf einem schiffchenförmigen Gestell von 1·2 Meter Länge und Breite. Später baute Blanchard einen zweiten Apparat mit zwei großen regenschirmähnlichen Flügeln, die auf einem Chassis montiert waren, in dem der Operator aufrecht stand. Er experimentierte diese zweite Maschine mehrmals im Garten des Hauses seines Förderers, des Abbé von Viennay, und es gelang ihm, sich bis auf 80 Fuß (26 Meter) Höhe zu erheben, angeblich mit Hilfe eines Gegengewichtes von bloß 9 Kilogramm, das längs eines Mastes lief. Daraus scheint zu folgen, daß es Blanchard möglich war, seinen Apparat bis auf 9 Kilogramm in Schwebe zu halten, vorausgesetzt, daß die vorliegenden Berichte völlig den Tatsachen entsprechen. Sehr

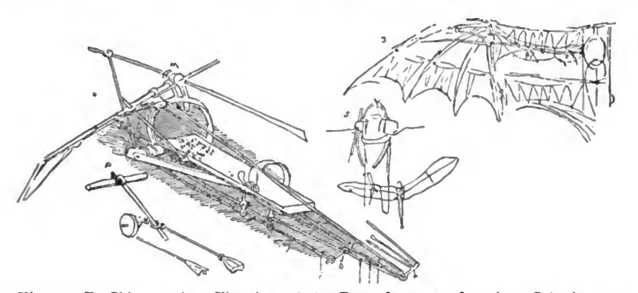


Fig. 112 B. Skizzen eines Flügels und des Rumpfgerüstes für einen Schwingenflieger von Leonardo.

ermutigend scheinen die Ergebnisse aber doch nicht gewesen zu sein, denn Blanchard gab seine Studien auf und setzte sie auch nicht fort, als er durch seine Ballonfahrten ein großes Vermögen erworben hatte.

Aus der Zeit der Erfindung des Luftballons stammt ein Projekt von Gérard: Ein Riesenvogel mit schifförmigem Körper und zwei kolossalen Flügeln. An der Stirnseite ein Vertikalsteuer und ein Horizontalsteuer an der Rückseite. Der Vortrieb soll durch Flügelschlag und Reaktion bewirkt werden, nach Art der Raketen. Weitere Details werden nicht angegeben, so daß man sich auch über die technische Möglichkeit des ganzen Projektes kein begründetes Urteil bilden kann.

Die bisherigen Darlegungen haben gezeigt, daß bis zum Ende des 18. Jahrhunderts irgend ein nennenswerter Fortschritt über Leonardo hinaus nicht erzielt wurde. Die überlieferten Berichte sind überdies so unvollkommen, daß man schwankt, ob man die Versuche eines Allard, Besnier, Marquis de Bacqueville oder des Abbé Desforges überhaupt ernst nehmen soll oder ob man in ihnen bloß Tändeleien

Digitized by Google

naiver Phantasten zu sehen hat. Das geheimnisvolle Halbdunkel, das über den Versuchen mit Schwingenfliegern bis dahin ausgebreitet war, beginnt sich erst mit dem Eintritt ins 19. Jahrhundert zu lichten. Aus diesem Grunde und auch wegen der prinzipiellen Bedeutung, die seinen Studien beizumessen ist, wollen wir mit der nun folgenden Besprechung der Arbeiten des Wiener Mechanikers Jakob Degen einen neuen Abschnitt beginnen.

Entwicklung des Schwingenfliegers im 19. Jahrhundert bis 1870. Am 12. November 1808 führte unser Landsmann Degen mit einem von ihm konstruierten Schwingenflieger im Prater öffentliche Versuche aus, die in der ganzen Welt das größte Aufsehen erregten. Degens Apparat bestand im wesentlichen aus zwei Flügeln in der Gestalt eines Pappel- oder Espenblattes; diese waren 2·5 Meter breit und klafterten 6·7 Meter. Sie hatten ein Gerippe ähnlich einem Regenschirm und waren nach oben und unten gut versteift. Zur Bespannung diente gefirnißtes Papier und erstere war so angeordnet, daß beim Flügelhub eine Klappenwirkung eintrat. Die gesamte Tragfläche war 12 Quadratmeter, das Gewicht betrug 9 Kilogramm. Die Flügel bewegen sich nicht nach Art der Vogelflügel in Gelenken bogenförmig auf und nieder, sondern sind durch eine horizontale Verbindungsstange zu einem elastisch starren Ganzen vereinigt. Der Flieger steht auf einem Stangengerüst und hält mit den Händen die horizontale Verbindungsstange der Flügel; durch deren Auf- und Abbewegung wird der Flügelschlag erzeugt.

Die Verbindung beider Flügel zu einem einheitlichen Ganzen bildet ein charakteristisches Merkmal, wodurch die Konstruktion Degens von allen früher und später gebauten Schwingenfliegertypen sich prinzipiell unterscheidet. Es mag dies auf den ersten Blick vielleicht als wenig belangloses Detail erscheinen, stellt aber in der Tat einen sehr erheblichen Fortschritt dar. Eine einfache Überlegung läßt den Wert der Neuerung Degens erkennen. Man braucht sich bloß vor Augen zu halten, daß die komplizierten Gelenkskonstruktionen und die mit der Bewegung im Bogen bedingten Kraftverluste ganz wegfallen. Die Konstruktion des Apparates wird dadurch außerordentlich vereinfacht und erleichtert. Die Flügel können erheblich leichter gebaut werden, bei gleicher Festigkeit. Auch die Art der Arbeitsleistung des Flügels ist viel rationeller als bei allen anderen projektierten oder ausgeführten Konstruktionen. Die ganze Ausführung macht den Eindruck eines vollendeten technischen Kunstwerkes, dem bis in die neueste Zeit nichts Gleichwertiges an die Seite zu setzen ist, denn die geniale Idee Degens, an Stelle der im Bogen schwingenden Flügel eine einfache geradlinige Auf- und Abbewegung zu wählen, hat sich keiner der zahlreichen Mitarbeiter auf diesem Gebiet zu eigen gemacht. Man hat sich von der sklavischen Kopierung der Natur nicht losmachen können. Dies ist wohl ein Hauptgrund für den verhältnismäßig geringen Fortschritt in der Technik des Flügelfliegers.

Bis auf einen Rest von 66 Pfund gelang es Degen mittels seines Apparates sich einige Zeit in Schwebe zu halten. Das Flugwerk wurde mittels eines Seiles, das über Rollen lief, suspendiert und durch ein Gegengewicht so ausbalanciert, daß der Flieger bei

Digitized by Google

Betätigung der Schwingen sich suspendiert erhalten konnte. Es ist dies an sich eine außerordentliche Leistung, an deren Realität man zweifeln müßte, wenn sie nicht so sicher beglaubigt wäre. Wir wissen ja heute, daß die senkrechte Erhebung in windstiller Luft vom Orte aus, bzw. das Schwebenderhalten über demselben Punkte, einen außerordentlich viel größeren Arbeitsbetrag erfordert, als das eigentliche Fliegen. Auch die größten Vögel, die zugleich die besten Flieger sind, vermögen sich nicht ohne Anlauf zu erheben. Die rasche horizontale Vorwärtsbewegung ist das primum mobile des Fluges oder, präziser ausgedrückt, des Vogelfluges (allgemeiner des Tierfluges) und aller auf dem Prinzip der organischen Flieger basierten ballonfreien Flugmaschinen-

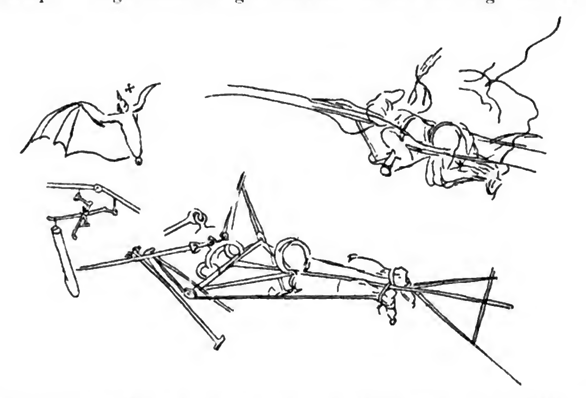


Fig. 112 C. Skizzen von Leonardo für einen Schwingenflieger zur Ausübung des persönlichen Kunstfluges.

typen. Dazu gehören in erster Linie die Schwingenflieger, dann auch die Drachenflieger, nicht aber die Schraubenflieger. Mit zunehmender Fluggeschwindigkeit sinkt bei den Schwingen- und Drachenfliegern die erforderliche Antriebsarbeit anfangs sehr rasch, später immer langsamer, bis schließlich eine gewisse Grenzgeschwindigkeit erreicht wird, bei der die Flugarbeit eben so groß wird wie die Schwebearbeit beim Schwebeflug ohne Vorwärtsbewegung. Sowie die Fluggeschwindigkeit über die charakterisierte Grenzgeschwindigkeit wächst, nimmt die gesamte Flugarbeit einen größeren Wert an als beim Schwebeflug am Orte. Auf diese Verhältnisse wird im folgenden noch näher eingegangen werden. Es sollte hier bloß gezeigt werden, daß das Flugvermögen des Apparates von Degen wesentlich hätte wachsen müssen, wenn er diesem eine Vorwärtsgeschwindigkeit durch Anlaufen in ruhiger Luft oder gegen den Wind erteilt hätte. Es scheint nicht

Digitized by Google

ausgeschlossen, daß es ihm in diesem Falle geglückt wäre, sich, wenn auch nur auf kurze Zeit, frei in der Luft zu erhalten. Wäre Degen auf diese Idee verfallen, so hätte die Entwicklung der Flugtechnik wahrscheinlich einen ganz anderen Weg genommen. Der Eindruck, den ein ballonfreier Flug auf die Zeitgenossen gemacht hätte, wäre wohl ein so nachhaltiger gewesen, daß man die Idee des persönlichen Kunstfluges nicht mehr locker gelassen hätte. Degen wäre dann vielleicht der Begründer einer Wiener Kunstfliegerschule geworden, die wohl einen erheblichen Einfluß auf die weitere Entwicklung der Flugtechnik gehabt hätte.

Derartige Betrachtungen sind freilich eigentlich müßige Spielereien, es ist aber doch nicht ohne Interesse zu sehen, daß die Entwicklung des technischen Fortschrittes und insbesondere der Flugtechnik keineswegs eine kontinuierliche, sondern eine sprunghafte gewesen ist. Der Nachfolger beginnt meist nicht dort, wo der Vorgänger aufgehört hat, sondern an einem ganz anderen Ende, und so finden wir oft, daß es zu einer Entwicklung gar nicht kommt, indem jeder Mitarbeiter gleichsam eine neue Entwicklungsreihe anfängt. Aus diesem Grunde ist auch die chronologische Darstellung der Geschichte der Flugtechnik ungemein schwierig, wir stoßen oft Jahrhunderte später auf Konstruktionen, die, mit dem Maße der Zeit gemessen, als ganz minderwertig erscheinen müssen. Ähnliche Diskontinuitäten zeigen sich nicht selten selbst bei den einzelnen Mitarbeitern. Sie schwenken, wenn sie an einem gewissen Punkte der Entwicklung angelangt sind, plötzlich nach einer anderen Richtung ab und geben damit meist die errungenen Vorteile preis. Auch in den Arbeiten Degen zeigt sich eine derartige Diskontinuität, die ihn das gesteckte Ziel verfehlen ließ. Um sich von dem Gegengewichte, das zur Ausbalancierung seines Gewichtes nötig war, loszumachen, verfiel Degen leider auf die unglückliche Idee, seinen Apparat an einen kleinen Ballon anzuhängen, dessen Auftrieb so abgemessen war, daß er gerade das Manko an Auftrieb ersetzte und so die Rolle des ominösen Übergewichtes übernahm. Degen konnte nun freilich die Fesseln der Schwerkraft leicht abstreifen. In völlig windstiller Luft gelang es ihm, sich senkrecht zu erheben und wieder am gewünschten Orte niederzugehen. Beim schwächsten Wind war es aber mit der Herrlichkeit des freien Fluges vorbei. Der Luftstrom trug dann den Flieger, trotzdem er krampfhaft die Schwingen auf und nieder schlug, unbarmherzig davon, ganz wie einen gewöhnlichen Kugelballon ohne künstliches Flügelwerk. Es ist dies ja ganz natürlich. Der Winddruck gegen den Entlastungsballon war trotz seiner relativen Kleinheit doch so erheblich, daß ein Ankämpfen dagegen unmöglich war. Überdies war auch das Flugwerk gegen den Ballon nicht versteift, wodurch sogar die Gefahr eines völligen Umkippens des ganzen Systems nahe gerückt wurde. Degens Verkoppelung seines Flugwerkes mit einem Ballon war deshalb schlechter als der schlechteste sogenannte „lenkbare Ballon", diese Bezeichnung in dem damaligen Sinne angewandt, sie war aber auch schlechter als jede rein ballonfreie Flugmaschine. Alle Vorzüge des Systems und alle Feinheiten der Detailkonstruktion waren damit illusorisch gemacht. Degen selbst hat sich nach mehreren verunglückten Versuchen in Paris dem größten Spotte ausgesetzt. Er ist mit seiner

Digitized by Google

Konstruktion unbewußt und gewiß ohne Absicht zum Erfinder des sogenannten Prinzips der „teilweisen Entlastung“ geworden, das nach ihm noch dutzendemale wieder entdeckt wurde und große Verwirrung in der Flugtechnik angerichtet hat.

Wir werden auf dieses Pseudoprinzip noch im folgenden in einem eigenen Abschnitt zurückkommen. Bei der Beurteilung der Leistungen Degens müssen wir die Arbeiten der zweiten Periode, wo er zur Entlastung einen Ballon anwandte, ausschließen. Diese letzteren haben ihm, und nicht mit Unrecht, viel Spott und wenig Ehre eingetragen. In Paris wurde er arg verlästert und verhöhnt. Die Landsleute eines Montgolfier und Charles erhofften einen fliegenden Menschen zu sehen. Die Erwartungen waren auf das höchste gespannt. Die Zeitungen brachten schon lange, ehe Degen nach Paris kam, Artikel über ihn. In einem derselben schrieb der berühmte Aeronaut Jacques Garnerin: „Wird er fliegen? Wird er nicht fliegen? So fragt man seit einigen Tagen auf den öffentlichen Plätzen, auf den Promenaden, in den Salons, in den Kaufläden! Wird er fliegen? Wird er nicht fliegen?

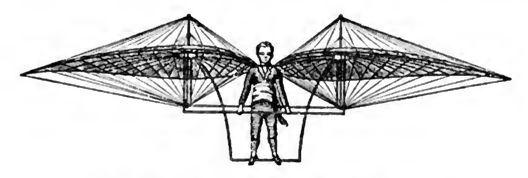


Fig. 113. Schwingenflieger von Jakob Degen.
Nach der in seiner Schrift „Beschreibung einer neuen Flugmaschiene“ (Wien 1808) enthaltenen Originalzeichnung.

Was brauchten wir die Journalisten, wenn sie immer erst nach den Ereignissen uns darüber erzählen?“ Zwei Monate später schrieb dasselbe Blatt: „M. Degen, der in Frankreich mit Ungeduld erwartet wurde, hat gestern gezeigt, daß er nichts ist als ein kläglicher (miserable) Charlatan, der bloß darauf ausging, das Publikum zu täuschen. Da er seine Versprechungen nicht erfüllen konnte, hat er sich dem Unwillen der Zuschauer ausgesetzt und es war die Intervention der Polizei notwendig, um Exzesse zu vermeiden. Das Eintrittsgeld wurde saisiert und in das Bureau der Wohltätigkeit gesandt, so daß M. Degen in keiner Weise „geflogen“ ist.“ Der gallige Schreiber verwendet die doppelte Bedeutung von voler gleich fliegen und stehlen zu einem bösen Wortwitz und sagt: „de sorte que M. Degen n'a volé en aucune manière.“ Der enttäuschte Pöbel durchbrach die Barrieren, schlug seinen Apparat in Stücke und setzte auch dem armen Degen hart zu. Er wurde verhöhnt, karikiert und in den Tingeltangels machte man sich über ihn lustig. Ein Holzstich, der die Heldentaten des Pariser Mobs versinnlicht, zeigt den Erfinder am Boden liegend, mit der einen Hand den Ballon haltend. Ein Zuschauer drückt ihm den Kopf nieder, ein

Digitized by Google

paar andere reißen ihm die an den Schultern angesetzten Flügel aus. Ein Konstabler hoch zu Roß treibt mit gezücktem Säbel die wütende Horde zurück. Rings um die Manege herum stehen feine Dämchen und behäbige Spießbürger, heftig gestikulierend und drohend die Knüttel schwingend. Unter dem Bilde steht folgende Legende: „Neuer Pflug, ohne Erfinder-Patent, geeignet zum Bearbeiten der Erde ohne Pferde, erfunden von M. Deghen, dem berühmten deutschen Mechaniker, versucht auf dem Marsfelde am 5. Oktober 1812.“ Das Varietétheater hatte einen immensen Erfolg mit einem Stücke, betitelt „Le Pâtissier d'Asnières“, in dem die Hauptfigur Brunet Degen karikierte unter dem Namen Vol-au-Vent. Wenn man sich vorstellt, wie Degen, an seinem Ballon wie an einem Nabelstrang hängend, krampfhaft die Flügel auf- und niederschwang, ohne von der Mutter Erde loszukommen, höchstens auf Augenblicke in der Luft baumelnd, muß dies wohl ein tragikomischer Anblick gewesen sein, und man begreift es, wenn die Pariser die in solchen Dingen ein wenig verwöhnt waren, den Erfinder mit Spott und Hohn überschütteten. Sie mußten ja von einem Apparate, mit dem man sollte fliegen können, mit Recht erwarten, daß dieser wenigstens das imstande sei, was ja jeder gewöhnliche Kugelballon leistet, nämlich das Gewicht des Fliegers vom Boden abzuheben. Freilich gar so brutal hätten die Pariser aeronautischen Gourmands, von denen gar viele noch die ersten Montgolfieren und Charlieren aufsteigen sahen, unsern deutschen Landsmann doch nicht behandeln sollen! An dem Spott wäre es genug gewesen und diesen können wir ihnen freilich nicht verargen. Das klägliche Fiasko, das Degen mit seinem Ballonflieger, bzw. Nichtflieger erlitten hat, mußte naturgemäß auf das Bild seiner Gesamtleistungen einen Schatten werfen. Es bedeutet einen Akt der Pietät gegenüber unserem Landsmann, wenn wir sein Werk von den Schlacken befreien, die das klare Metall verunreinigt haben. Wie schon erwähnt, müssen wir zu diesem Zwecke von der lächerlich naiven Idee des Entlastungsballons ganz absehen. Dies vorausgesetzt, können wir sagen: Die Leistungen Degens sind unmittelbar neben jene Leonardos zu stellen. Was dieser aber bloß in flüchtigen Skizzen hinwarf, ohne an deren Ausführung zu schreiten, hat der geniale Wiener Uhrmacher mehr als drei Jahrhunderte später, unabhängig von den Italienern, in die Wirklichkeit übersetzt. Degen ist dabei noch um ein gutes Stück über Leonardo hinausgegangen. Er hat sich von dem falschen Naturalismus, dessen Eierschalen den Entwürfen Leonardos noch anhingen, völlig befreit. Die Detailkonstruktion des Degenschen Flugwerkes läßt die Hand eines genialen Technikers erkennen, was besonders deutlich wird, wenn man seine Ausführung mit den vielen nach ihm hergestellten und erprobten ganz minderwertigen Typen von Schwingenfliegern betrachtet. Damit ist die Bedeutung der Arbeiten des deutschen Uhrmachers wohl in das rechte Licht gesetzt. Degen ist nicht bloß eine lächerliche Figur, er ist auch ein genialer Vorkämpfer und Pfadsucher gewesen.

Einen klaren Einblick in die geniale Leistung Degens gibt seine im Jahre 1808 in Wien erschienene Originalschrift „Beschreibung einer neuen Flugmaschine“. In der Einleitung erfahren wir, daß der Direktor des physikalischen Kabinetts und Professor der Physik am Theresianum

Digitized by Google

in Wien, Joh. Christ. Stelzhammer, „dem Baue der Maschine von ihrer Entstehung an bis zu ihrer Vollendung oft beygewohnt“ und „die Versuche mit aufmerksamem Blick verfolgt“ habe. Auch über die Ziele, die er sich bei seinen Versuchen steckte, spricht sich Degen klar aus. Er sagt darüber: „Es ist nicht bloß um die Frage zu tun, ob es den Menschen möglich sey, nach der Art der Vögel zu fliegen, oder nicht. Die Möglichkeit hat die geringste Zahl der Stimmen für sich. Meine Versuche sollen zur Prüfung der verschiedenen Mittel, die sich Menschen zum Fluge ausgedacht haben, dienen; sie sollen Beobachtungen über den Widerstand der Luft, über die Kräfte der Menschen und der Vögel und über die Anwendung derselben veranlassen; sie sollen zur Bewunderung der Geschicklichkeit jener Geschöpfe hinreißen, deren Bekleidung, Gestalt und Stimme wir schon oft bewundert haben.“ Degen beschreibt dann seinen Apparat und gibt die Methode der Durchführung seiner Versuche an, und zwar mit einer Klarheit, welche ihn auch als Meister der Darstellung zeigt. Es ist hier nicht möglich, einen Einblick in die technische Feinarbeit des Degenschen Apparates zu geben. Aus „Schilfrohren von einem halben Zoll Durchmesser“, „feinem mit Firniß überzogenem Papier“, Seidenfäden und Holzstangen baut Degen einen Flügelapparat, der sich durch überraschende Leichtigkeit und Festigkeit auszeichnet, indem er sozusagen instinktiv das erst in neuester Zeit von Jarolimek klar ausgesprochene Gliederungsprinzip anwendet. Die Gliederung geht bis in die feinsten Details. Jeder Flügel besteht aus 3500 Klappen. Zur Versteifung dienen 1664 Seidenschnüre, von denen „jede erst bei einer Last von 7 Pfund entzwey reißt“. Das Flügelgewicht beträgt bloß 5 Pfund, bei einer Länge von je 10 Fuß und einer größten Breite von 9 Fuß. Diese wenigen Zahlen lassen erkennen, daß das Flügelwerk Degens ein technisches Kunstwerk gewesen sein muß. Bloß das genaue Studium der Originalschrift vermag einen klaren Einblick in die anscheinend außerordentlich komplizierte und doch so einfache Konstruktion des Apparates zu geben. Wenn wir hören, daß Degen ein ehemaliger Bandmachergehilfe war und später als „bürgerlicher Uhrmacher“ hochberühmt wurde, wenn wir aus seinem Werke entnehmen, daß er Euler kannte und ihm auch die Arbeiten Prechtls über den Luftwiderstand nicht unbekannt waren, daß er mit den Werken von Parthez über den Vogelflug und von Zachariä über Aeronautik wohlvertraut war, müssen wir gewiß das Werk dieses Mannes mit anderem Maße messen, als es auf Grund seiner kindisch-naiven Versuche mit dem Entlastungsballon ein Jahrhundert lang der Fall war. Jakob Degen war ein eminentes mechanisches Genie, nicht bloß Erfinder, sondern auch Forscher. Er begnügt sich nicht damit, seinen Apparat zu bauen und mit diesem dann herumzuprobieren, sondern er arbeitet nach streng wissenschaftlicher Methode. Er fragt sich zunächst: „Welche Schwere kann ich meinen Flügeln geben?“ Auf Grund von Versuchen mit beschwerten Hebelstangen findet er als Maximalgewicht 25 Pfund. Das wirkliche Flügelgewicht betrug bloß den fünften Teil. Weiters sucht er ein Maß für die Flügelgröße zu erhalten. Er mißt Gewicht und Flügelfläche eines Adlers und denkt sich diesen proportional vergrößert. So schrittweise weiterbauend und in steter Berücksichtigung der Konstruktion des

Digitized by Google

Flugmechanismus des Vogels, für den er eine mechanische Kopie schaffen will, kommt er anscheinend durch bloße logische Schlüsse, bzw. Gedankenexperimente auf seine ganz eigenartige Konstruktion. Die Flügel sind so konstruiert, daß sie „im Ganzen als in einzelnen Teilen Federkraft besitzen". Degen ist sich bewußt, daß der vertikale Aufschwung in unbewegter Luft unter allen Flugarten der schwerste ist. Er weiß auch, daß der Vogel „zu dem perpendikulären Aufsteigen sich des entgegenwehenden Windes bedient". Wir erfahren auch, weshalb Degen die Klappenkonstruktion wählt und warum er trotzdem mit dem senkrechten Aufflug beginnt. Er sagt: „Ich wähle die Klappen, indem ich mich anfangs auf die Nachahmung des senkrechten Fluges einschränke, weil ich bey einem für mich ganz neuen Unternehmen anfangs meine Maschine und dann auch meinen Körper an einer Schnur hängen mußte, um stufenweise fortzuschreiten." Der Apparat wird zunächst als Fallschirm bei unbewegten Flügeln versucht, dann geht Degen zur Erprobung der Wirkung der Flügelschläge über. Die Versuche fanden zunächst in der Aula der Universität, dann in der Hofreitschule statt. Der Apparat samt Fixiervorrichtungen am Körper des Fliegers wog 25 Pfund (14 Kilogramm), Degens Körpergewicht war 114 Pfund (64 Kilogramm). An dem 50 Fuß (16 Meter) hohen Dachstuhl wurden zwei Rollen angebracht. Über diese lief das Halteseil und war am Ende mit einem Gegengewichte von 78 Pfund (44 Kilogramm) beschwert. „Nach gemachten Versuchen" kommt für die Reibung ein Betrag von 9 Pfund (5 Kilogramm) in Abzug, so daß der Nettozug 66 Pfund (37 Kilogramm) betrug. Nachdem er „durch wiederholte Versuche mehrere Fertigkeit erhalten hatte", gelang es Degen, die Höhe von 50 Fuß (16 Meter) mit 25 Flügelschlägen in 30 Sekunden zurückzulegen. Degen wußte, daß durch eine Translationsbewegung, bzw. im Winde die Wirkung der Flügelschläge zunehme. Er hätte sich demnach bloß ein entsprechend langes Seil zwischen zwei Trägern zu spannen gebraucht, auf dem die eine Rolle sich verschieben konnte. Damit hätte er den gesuchten beweglichen Stützpunkt erhalten. Im Winde wäre es ihm dann möglich, das Entlastungsgewicht erheblich herabzumindern. Das wäre der natürliche Weg der Entwicklung. Degen hat diesen verfehlt. Er glaubte in dem Entlastungsballon das Mittel zu haben, sich einen beweglichen Stützpunkt zu verschaffen und sich auch das Gegengewicht zu ersparen. Damit verdarb sich Degen seine ganze Arbeit. Wir ersehen daraus, daß auch der geniale Mensch nicht vor Irrtum gefeit ist und gar oft den Eindruck eines tardum ingenium macht. Gerade die Geschichte der Flugtechnik und Aeronautik ist reich an derartigen Beispielen. Jetzt, wo wir imstande sind, an dem Werke Degens die zwei Phasen der Entwicklung streng zu trennen, vermag auch die Entlastungsballonschrulle seinen Ruhm nicht zu verdunkeln. Da es hier galt, einem ein Jahrhundert lang verkannten Forscher die Ehre zu geben, die ihm gebührt, mußte auch auf das persönliche Moment weiter eingegangen werden, als dies sonst in diesem Buche der Fall ist, das ja nicht eine Sammlung von Erfinderbiographien geben soll, sondern die Entwicklung der Aerotechnik darstellen will.

Bis um die Mitte des Jahrhunderts hören wir nichts von weiteren

Digitized by Google

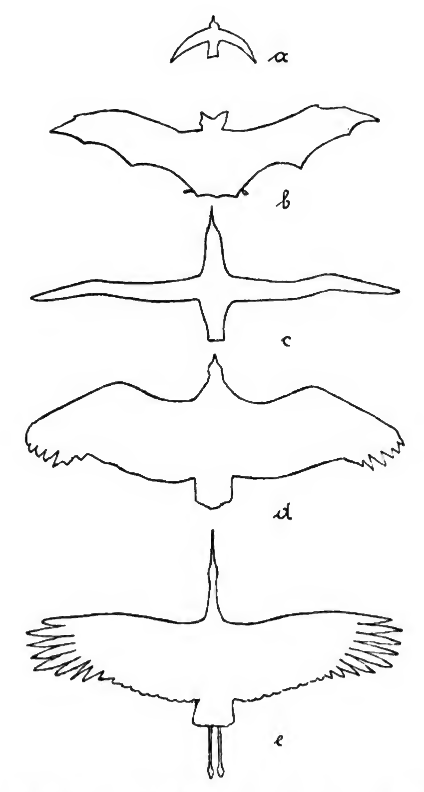


Fig. 114. Umrißformen der Flügelflächen von Vögeln und Fledermäusen.
a Schwalbe, *b* Fledermaus, *c* Albatros, *d* Geier, *e* Storch (Maßstab verschieden).

Versuchen mit Schwingenfliegern. Im Jahre 1848 baute Duchesnay nach Delpuis-Delcourt einen großen Schwingenflieger, dessen Flügel mit Federn bedeckt waren und mehr als 10 Meter klafterten. Über die nähere Konstruktion und das Ergebnis der Versuche ist nichts bekannt geworden. Marc Séguin soll es 1849 gelungen sein, sich mit Schlagflügeln, die an einem Chassis befestigt waren, vom Boden zu erheben. Nähere Details sind nicht angegeben.

Digitized by Google

Des organischen Zusammenhanges wegen soll jetzt ein von Letur 1852 konstruierter Apparat besprochen werden, obwohl dieser eigentlich mehr in die Gruppe der lenkbaren Fallschirme und Gleitapparate als der eigentlichen Schwingenflieger zu zählen ist. Er besteht im Wesen aus einem großen regenschirmartigen Fallschirm von 61 Quadratmeter Fläche. Ziemlich tief unter der Fallschirmfläche sitzt auf einem Stangengerüste der Flieger und bewegt mit den Händen zwei dreieckförmige Flügel. Der ganze Apparat ist, nach der überlieferten Zeichnung zu schließen, recht primitiv konstruiert. Die Erprobung sollte durch Abflug von einer Höhe erfolgen. Es war dies eine unglückliche Idee, die in der Folge mehrere Opfer fordern sollte. Das erste war Letur selbst. Er ließ seinen Apparat etwa 30 Meter unter der Gondel eines Ballons anbinden und stieg 1854 von Cremorne Gardens in London auf und operierte mit seinen Flügeln in der Luft ohne ersichtlichen Erfolg. Bei der Landung trieb der Wind den Apparat heftig gegen Bäume, wobei Letur lebensgefährliche Verletzungen erlitt, an denen er bald darauf starb.

Das Projekt eines Schwingenfliegers zur Ausübung des persönlichen Kunstfluges rührt von Bréant aus dem Jahre 1854 her. Zwei Flügel von je 5 Quadratmeter Fläche, jeder mit drei Klappenventilen versehen, werden durch den Flieger vermittels Hand- und Fußkraft bewegt. Der Flügelhub erfolgt durch elastische Bänder. Der Apparat stellt die naivste und ganz aussichtslose Art der Realisierung des persönlichen Kunstfluges durch die Eigenschaft des Menschen dar. Er steht außerordentlich tief unter den Konstruktionsskizzen von Leonardo und der von Degen angegebenen Type. Wir werden in neuester Zeit auf eine ähnliche Lösungsform stoßen und bei dieser Gelegenheit auf die Mängel dieses Systems näher eingehen. Es ist nicht bekannt, ob Bréant mit seinem Apparat Versuche angestellt hat; diese mußten jedenfalls ein rein negatives Resultat ergeben haben.

Ein erheblich interessanteres Projekt stammt von Struvé und Telescheff aus dem Jahre 1864. Ein schiffchenförmiger Rumpf trägt zu beiden Seiten 5 Paare von Flügeln; diese haben nahe die Form von Libellenflügeln mit festem Vorder- und elastischem Hinterrand. Der Antrieb der Flügel sollte durch Menschenkraft erfolgen. Versuche scheinen nicht angestellt worden zu sein.

Bourcart experimentierte 1866 mit einem Vierflügelapparat. Beim Aufschlag trafen die Flügel nur mit der Kante gegen die Luft, beim Niederschlag mit der Breitseite. Die Tragfläche war relativ sehr klein und der Effekt des Flügelschlages gering. Der Apparat bezeichnet nach keiner Hinsicht einen Fortschritt. Palmer stellte 1868 in London ein paar Flügel aus, die an einer rotierenden Achse befestigt waren und sich beim Hub zusammenfalteten, beim Schlag dagegen ausbreiteten wie die Schwimmfüße der Wasservögel.

Damit wollen wir den zweiten Abschnitt in der Entwicklung des Schwingenfliegers und des persönlichen Kunstfluges abschließen. Ein Fortschritt nach dem Entwicklungsprinzip ist nicht zu erkennen. Nach der genialen Leistung von Degen stoßen wir, was den persönlichen Kunstflug betrifft, bloß auf ganz minderwertige Konstruktionen, die gegenüber der von Degen geschaffenen Type nicht nur keinen Fortschritt

Digitized by Google

bedeuten, sondern durchwegs selbst weit hinter Leonardos Konzeptionen zurückstehen. Die Apparate eines Letur, Bréant und Bourcart wurden bloß der Vollständigkeit wegen aufgenommen. Von Schwingenfliegern mit Motorantrieb liegt in der ganzen Periode vom Anfang des 19. Jahrhunderts bis zum Jahre 1870 kein Versuch vor. Die ersten flugfähigen Modelle von Schwingenfliegern mit motorischem Antrieb stammen aus dem Jahre 1870. Im folgenden Jahrzehnt wurden die Schwingenflieger von den Pariser Flugtechnikern außerordentlich favorisiert. Das Jahr 1870 bezeichnet deshalb einen natürlichen Abschnitt in der Entwicklung des Schwingenfliegers, indem in erster Linie der Motorschwingenflieger in den Mittelpunkt des Interesses gelangt, während der persönliche Kunstflug immer mehr in den Hintergrund tritt.

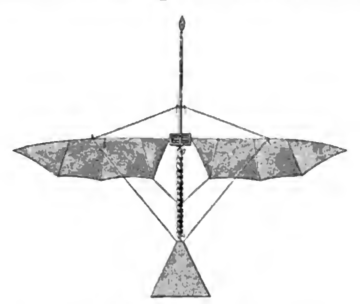


Fig. 115. Schwingenfliegermodell von Tatin.
Angetrieben durch tordierte Gummischnüre.

Die ersten freifliegenden Modelle und die Entwicklung des Schwingenfliegers bis in die neueste Zeit. Der Krieg vom Jahre 1870 war für die französischen Flugtechniker ein mächtiger Ansporn. Wir werden sehen, daß in den nächsten Jahren die Versuche sich serienartig häufen. Die Zernierung von Paris ließ den Besitz eines Luftvehikels, das nicht wie der gewöhnliche Ballon ein Spielball des Windes ist, sondern eine zielsichere Fortbewegung durch die Luft ermöglicht, sehr schmerzlich vermissen. Die Franzosen konnten wohl mittels Ballons aus der belagerten Hauptstadt heraus, aber der Versuch, auf dem gleichen Wege auch wieder zurückzugelangen, mißlang. Der lenkbare Ballon hatte seit den unbefriedigenden Erfolgen der Versuche von Giffard um die Mitte des Jahrhunderts allen Kredit verloren, auch die „Sainte-Hélice“ [1]) hatte ihre Gläubigen im Stiche gelassen, man warf sich deshalb mit wahrer Begeisterung auf die Ausbildung des Schwingenfliegers. In den zwei Jahren 1870—1872 wurde nahe ein halbes

[1]) Die „heilige Schraube“, so nennt Nadar in seinem berühmten „Manifeste de l'automotion aérienne“ vom Jahre 1863, ein feines Wortspiel verwendend, die Luftschraube.

Digitized by Google

Dutzend von Modellen von Schwingenfliegern gebaut, die zum Teil außerordentlich originell konstruiert waren.

Eines der interessantesten Schwingenfliegermodelle wurde von Trouvé gebaut, dessen Schraubenfliegerstudien wir bereits erwähnt haben. Zwei vogelschwingenartig geformte Flügel sind durch ein halbkreisförmig gebogenes, sogenanntes Bourdonrohr, verbunden. Es ist dies ein flach gedrücktes, beiderseits geschlossenes Rohr aus sehr elastischem Stahl. In der Mitte ist eine kleine Öffnung angebracht, durch die der Hohlraum mit der Außenluft kommuniziert. Bläst man einen Luftstrom durch die Öffnung, so biegen sich die Enden des Rohres nach außen. Hört der Strom auf, so entweicht aus dem Rohre so lange Luft, bis innen und außen wieder derselbe Druck herrscht und die Enden schnellen wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück. Durch intermittierendes Einblasen von Luft in das Rohr kann man demnach eine oszillierende Bewegung der Flügelspitzen hervorbringen. Um möglichst intensive Druckänderungen zu erzeugen, verband Trouvé den Innenraum des Rohres mit einer Revolvertrommel, die zwölf Patronen faßte. Bei jeder Explosion einer Patrone strömten die Pulvergase in das Bourdonrohr und verursachten einen äußerst kräftigen Flügelschlag. An der Stirnseite war ein kleines Steuer zur Kurserhaltung angebracht, an der Rückseite ein horizontales Schweifsteuer. Über den Flügeln war eine kleine ovalförmige Tragfläche montiert. Der Apparat würde deshalb eigentlich zu den gemischten Typen zu zählen sein, denn er ist ein Drachenschwingenflieger. Da aber die Drachenfläche mehr die Rolle einer Steuerfläche spielt, darf man das Modell Trouvés wohl auch unter die Schwingenflieger einreihen.

Recht geistreich ist auch die Methode der Lancierung des Apparates. Dieser wird wie ein Pendel an einem langen Faden aufgehängt. Mittels eines zweiten horizontalen Fadens wird dann das Modell so fixiert, daß das Pendel etwa einen halben rechten Winkel mit der Ruhelage einschließt. Nun wird der horizontale Faden abgebrannt, gleichzeitig erfolgt die erste Explosion, die den ersten Flügelschlag bewirkt. Der Apparat führt nun eine beschleunigte Pendelbewegung aus. Sowie der Pendelfaden die lotrechte Lage erreicht hat, wo der schwingende Flugkörper sich im tiefsten Punkte seiner Bahn befindet, wird durch eine Stichflamme auch der Pendelfaden abgebrannt. Dadurch wird das Modell völlig frei und der Flug beginnt. Wenn die zwölf Patronen verbraucht sind, stellt der Apparat den Flügelschlag ein und gleitet wie ein Gleitapparat sanft zu Boden. Die durchflogenen Strecken erreichten 60—70 Meter. Trouvé projektierte auch einen großen Schwingenflieger, der durch ein explodierendes Gemisch nach dem gleichen Prinzip, von Wasserstoffgas und Luft getrieben werden sollte. Es ist nicht bekannt geworden, ob ein größerer Apparat tatsächlich konstruiert und erprobt wurde.

Das Modell eines typischen Schwingenfliegers baute Jobert im Jahre 1871, bestehend aus zwei vogelflügelartig geformten Flügeln mit einer horizontalen Schwanzfläche. Der Antrieb erfolgte durch ein gedehntes Gummiband. Dieses war mit dem einen Ende an einem Stabe fixiert, am anderen Ende war eine Schnur befestigt, die über eine Rolle geführt wurde. Durch Drehen der Rolle wickelte sich das

Digitized by Google

Band auf und die Gummischnur wurde gespannt. An der Rolle waren zwei Kurbeln angebracht, die mittels Stangen die Flügel in oszillierende Bewegung versetzten. Später ersetzte Jobert das eine Flügelpaar durch zwei, wodurch die Bewegungen weniger hüpfend wurden.

Ein ähnliches Spielzeug wurde 1872 von Pénaud konstruiert. Über die Arbeiten des gleichen Forschers auf dem Gebiete der Schraubenflieger und Drachenflieger haben wir bereits gesprochen. Pénaud wendete zum Antrieb seines Flügelfliegermodelles gedrehte Gummischnüre an. Die Flügel hatten einen festen Vorder- und einen elastischen Hinterrand, sie schlugen senkrecht auf und nieder, der Vortrieb wurde bloß durch die Aufbiegung des Hinterrandes erzeugt. Der Apparat kann sich nicht vom Boden erheben. Wenn er von einer größeren

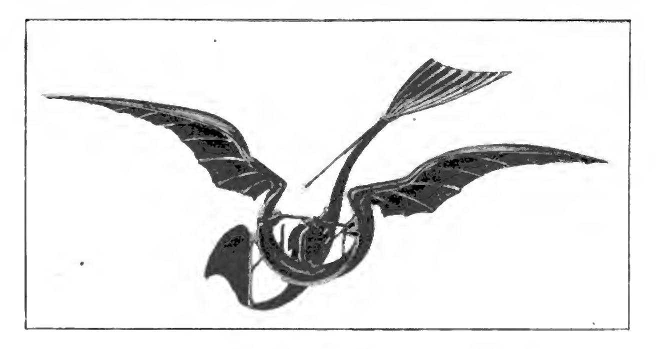


Fig. 116. Schwingenfliegermodell von G. Trouvé.

Höhe aus abgelassen wird, senkt er sich zunächst etwa ein halbes Meter und erhebt sich, wenn er seine Schwebegeschwindigkeit erreicht hat. Das Modell durchflog 15 Meter in 7 Sekunden; es erhebt sich während des Fluges bis nahe ein Meter über den Abflugspunkt.

Zu gleicher Zeit wurde von Hureau de Villeneuve das Modell eines Schwingenfliegers demonstriert. Die Flügelebene war unter einem halben rechten Winkel gegen die Horizontale geneigt. Der Apparat konnte sich vom Boden erheben, aber nur bis etwa ein Meter. Später verbesserte Hureau seine Modelle, so daß sie horizontale Strecken von 8 Meter mit einer Geschwindigkeit von nahe 9 Meter in der Sekunde zurücklegten. Die größeren Modelle hatten einen außerordentlich kräftigen Flügelschlag. Bei jedem Schlag erhebt sich der Körper etwa ein Meter hoch und sinkt dann wieder zurück. Hureau konstruierte später auch einen großen Apparat, der imstande sein sollte, einen Menschen zu tragen. Die Antriebskraft bildete ein Dampfmotor. Der Dampf wurde durch einen biegsamen Schlauch zugeleitet. Der

Digitized by Google

Apparat soll sich samt dem Flieger erhoben haben. Hureau stellte, dadurch überrascht, plötzlich den Dampfzufluß ab, worauf der Apparat wieder zurückfiel. Dabei ging ein Flügel in Brüche. Der künstliche Riesenvogel hatte eine Spannweite von 15 Meter.

Mit einem großen, durch die Muskelkraft des Fliegers angetriebenen Apparat experimentierte Ader, den wir noch als Konstrukteur des berühmten „Avion" kennen lernen werden, im Jahre 1872. Die Spannweite des Flugwerkes betrug 7·8 Meter, das Gewicht desselben war 24 Kilogramm. Der Flügelschlag erfolgte durch die Muskel- und Beinkraft und wurde durch elastische Bänder verstärkt. Der Flieger war horizontal gelagert. Der Apparat wurde bei heftigem Winde, durch ein Seil gegen das Fortfliegen gesichert, abgehoben. Es ergab sich aber, daß die Muskelkraft des Menschen nicht ausreicht, sein Gewicht in ruhiger Luft in Schwebe zu halten.

Einen Flügelapparat von recht minderwertiger Konstruktion erprobte de Groof 1874, indem er sich von dem berühmten englischen Aeronauten Cocking durch einen Ballon mehrere hundert Meter hoch heben und dann das Verbindungsseil abschneiden ließ. Der Apparat bestand aus einem pyramidenförmigen Stangengerüste, an dem zwei dreieckförmige Flügel von je acht Meter Länge und ein etwa sieben Meter langer Schweif fixiert waren. An den Rädern der Flügel waren an einer großen Anzahl von Punkten Schnüre befestigt, die in ein starkes Seil zusammenliefen. Der Flieger stand auf einem Trittbrett. Durch Ziehen an dem Seile wurden die Flügel niedergeschlagen. Der Hub erfolgte automatisch. Ein ähnliches Schnursystem wie an der Unterseite ging auch von der Oberseite aus und lief in zwei Seile zusammen, deren Enden an elastischen Rohren fixiert waren. Die gesamte Flügelfläche betrug etwa 20 Quadratmeter, das Gewicht samt Flieger war nahe 160 Kilogramm. Durch den Druck der Luft wurden die Flügel nach Lösung der Verbindung mit dem Ballon brüsk nach oben geschlagen, so daß de Groof nicht imstande war, einen Flügelschlag auszuführen und wie ein Stein zu Boden stürzte, wo er mit zerschmetterten Gliedern liegen blieb.

Ein Meisterwerk der Mechanik stellt ein von Gauchot 1874 konstruiertes Modell eines Schwingenfliegers von 1·2 Meter Spannweite dar. Die Flügel führten eine elliptische Bewegung aus. An einem Faden an der Zimmerdecke aufgehängt, erhob der Apparat sich rasch durch die alleinige Wirkung seiner Flügelschläge, bis der Faden außer Spannung kam.

Auch der hervorragende Drachenfliegerkonstrukteur Tatin baute mehrere Modelle von Schwingenfliegern in den Jahren 1874—1876. Die Flügel wurden durch Doppelexzenter bewegt, die mit dem Vorderrande in Verbindung standen und nach Art des Vogelflügels eine schwingende Bewegung erzeugten. Ein Modell durchflog 20 Meter.

De Louvrié projektierte 1877 einen Anthropornis" mit zwei Flügeln in der Form von Schwalbenflügeln, getrieben durch eine Dampfmaschine. Federn sollten den Schlag verstärken infolge ihrer Spannung beim Hub. Im Jahre 1888 überreichte de Louvrié der Pariser Akademie eine Abhandlung, in der er das Projekt eines Schwingenfliegers für den Transport von vier Passagieren entwickelte. Der Apparat sollte

Digitized by Google

bei einer Geschwindigkeit von über 25 Meter pro Sekunde bloß eine Antriebsarbeit von bloß drei Pferdekräften erfordern. Es ist ersichtlich, daß de Louvrié die nötige Flugarbeit sehr erheblich unterschätzte.

Mit einem großen, durch die Muskelkraft der Beine getriebenen Flügelapparat experimentierte Dandrieux 1879. Der Apparat bestand

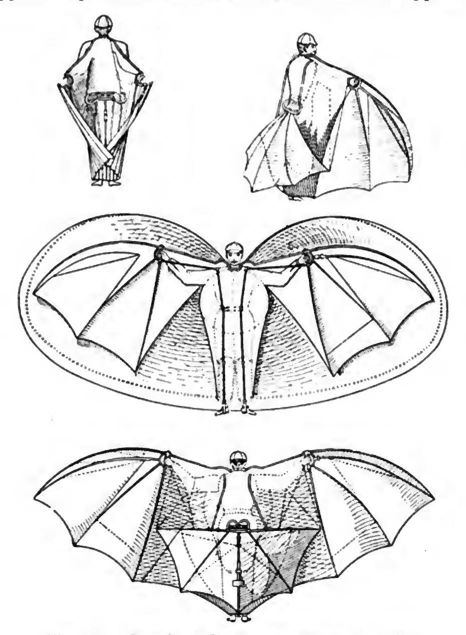


Fig. 117. Schwingenflieger von Wechmar, 1888.
Zur Ausübung des persönlichen Kunstfluges.
(Figur soll bloß zeigen, wieviel Gehirnarbeit bis in die jüngste Zeit verschwendet wurde auf die Lösung des ganz aussichtslosen Problems des persönlichen Kunstfluges nach Art der Vögel durch die Eigenkraft des Menschen.)

aus zwei dreieckförmigen Flügeln, deren längere Kante den Vorderrand bildete. Die Flügelspitzen sollten eine achterförmige Bahn beschreiben. Die Tragfläche beider Flügel betrug 9·3 Quadratmeter. Das erzielte Resultat war ungenügend. Der gewonnene Auftrieb war nur gering.

Digitized by Google

Ein neues Prinzip führte Breary 1879 in die Technik der Flügelfliegerkonstruktion ein. Er wollte den Auf- und Vortrieb durch undulierende Bewegungen einer losen Fläche erzeugen. Eine dreieckförmige Fläche aus biegsamem Gewebe wird an einem Stabe festgenäht. In der Mitte des Stabes wird ein zweiter senkrecht zum ersten und in der Richtung der Mittellinie des Dreieckes fixiert. Es entstehen dadurch zwei flügelartige Flächen mit steifem Vorderrand und biegsamem, losem Seitenrand. Werden die Enden der Flügelarme in schwingende Bewegung versetzt, nach Art der Flügelschläge des Vogels, so gerät das Gewebe in wellenförmige Bewegungen und zwar in der Richtung des Mittelstabes, wie auch in schwächerem Grade senkrecht darauf. Dadurch wird der Apparat getragen und auch vorwärts getrieben. Breary baute auch eine Reihe von Modellen. Die kleineren hatten eine Flügelfläche von 1·5 Meter Breite und 2·4 Meter Länge. Sie wurden durch tordierte Gummifäden getrieben und flogen 18 Meter weit. Ein größeres Modell hatte eine Flügelfläche von 1·5 Meter Breite und 2·4 Meter Länge; die Tragflächenarea betrug 4·8 Quadratmeter. Der Apparat wog 1·4 Kilogramm, dazu kamen 0·2 Kilogramm als Ballast. Breary legte auch großen Wert auf eine von ihm „pectoral cord" genannte Vorrichtung. Diese besteht aus einem elastischen Bande (oder einer geeigneten Spiralfeder), dessen eines Ende an der Flügelstange befestigt ist, von dort unter der Mittelstange zum zweiten Flügelarm läuft, wo das zweite Ende fixiert ist. Bei einem Modell von 1·2 Meter Spannweite zeigte Breary 1882 den Vorteil seines Pectoral cord. Bei 32 Drehungen der Kautschukfäden konnte der Apparat ohne Brustband nicht fliegen. Wurde dieses aufgelegt, so flog er bei 32 Drehungen. Ohne Band flog er erst bei 40 Drehungen, mit Band schon bei 13. Breary folgert daraus eine Erhöhung der Ökonomie durch Anwendung des Brustbandes. Er entwickelte später das Projekt eines großen, durch Dampfkraft getriebenen Apparates von 55 bis 65 Quadratmeter. Das Gesamtgewicht samt einem Mann sollte nicht über 225 Kilogramm betragen. Der Aufflug sollte durch Anlauf erfolgen. Breary wollte auch zwei derartige „Wave action Aeroplanes" übereinander stellen. Eine Erhöhung der Ökonomie dürfte dieser „Wave action" wohl nicht zuzuschreiben sein, sie könnte jedoch eine Erhöhung der Stabilität bewirken. Jedenfalls wäre es recht interessant zu sehen, ob bei Ausführungen im großen diese Wellenwirkung einen Vorteil bedeutet gegenüber einer starren Fläche. Der persönliche Eindruck des Autors ist, daß eine Erhöhung der Ökonomie der Flugarbeit von Schwingenfliegern durch die „Wave action" nicht erzielt werden kann.

Einen Schwingenflieger zur Ausführung des persönlichen Kunstfluges konstruierte Sanderval im Jahre 1884. Die Flügel waren mit Klappen versehen und wurden durch Fußkraft bewegt. Das Flügelareal war 28 Quadratmeter, das Apparatgewicht 45 Kilogramm. Es ergab sich, daß die Kraft des Menschen zum wirksamen Antrieb des Flügelapparates nicht ausreichte. Sanderval konstruierte später seinen Apparat zu einem Gleitflieger um. Über seine Versuche mit Gleit- und Drachenfliegern war schon im vorausgehenden die Rede.

Weitere Modelle von kleinen Schwingenfliegern mit Gummiantrieb

Digitized by Google

wurden von Kress und Pichancourt gebaut. Das Modell von Kress ist eigentlich kein flugfähiger Schwingenflieger, es kann keinen horizontalen Flug ausführen, es macht nur ein halbes Dutzend Flügelschläge und gleitet dann zu Boden. Der Apparat ist mit elastischem Brustband ausgerüstet. Die Flügelbewegung erfolgt vermittels einer einzigen Kurbel, deren Pleuelstange durch ein Hebelsystem gleichzeitig beide Flügel niederzieht. Kress meint, daß es möglich wäre, einen großen mechanischen Ruderflieger zu bauen, der imstande ist, mit einer Antriebskraft von bloß 2 bis 3 Pferdekräften einen Menschen zu tragen, mit einer Geschwindigkeit von neun bis zwölf Meter in der Sekunde.

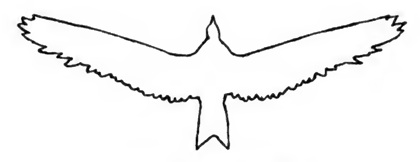


Fig. 118 A. Segelflug.
Flügelstellung eines segelnden Vogels. (Flug ohne Flügelbewegung im Winde.) Flugarbeit von der Energie der strömenden Luft geleistet.



Fig. 118 B. Gleitflug.
Flügelstellung eines Vogels im Gleitfluge. Flug schräg abwärts ohne Flügelschlag.

Ein ziemlich kompliziertes Schwingenfliegermodell baute Pichancourt 1889. Die Flügel hatten ausgebreitet halbmondförmige Form mit festem Vorderrand und sind sonst ohne jede Versteifung. Der Antrieb erfolgte durch gedrehte Gummischnüre. Die Flügelführung wird durch drei Exzenter bewirkt, die an drei verschiedenen Punkten angreifen. Der Aufschlag geschieht automatisch durch ein elastisches „Brustband“. Das Modell hatte eine Spannweite von 43 Zentimeter und flog von acht Meter Höhe 25 Meter weit gegen einen leichten Wind.

Die bisher besprochenen kleinen Modelle von Schwingenfliegern von Tatin, Jobert, Pénaud, Hureau, Breary, Kress, Pichancourt, denen wohl noch eine Reihe anderer zuzuzählen wäre, können nicht im eigentlichen Sinne als Modelle bezeichnet werden. Es sind vielmehr bloße Spiel-

Digitized by Google

zeuge, Studierbehelfe, Mittel zur Unterstützung der Anschauung. Die Ergebnisse der Versuche gestatten darum keinen Schluß auf die Ausführung im großen. Alle genannten Apparate sind Kopierungen der natürlichen Flieger, deren Ausführung im großen auf unüberwindliche technische Schwierigkeiten stoßen würde. Da die kleinen Spielzeuge immerhin ein gewisses historisches Interesse beanspruchen, wurden sie ausführlicher beschrieben.

In neuester Zeit wurden Versuche mit einem großen Schwingenflieger von Frost im Jahre 1890 angestellt. Der Apparat hatte zwei große Flügel in Form der Krähenflügel mit aufgelösten Schwingen. Die Spannweite der Flügel betrug 10 Meter. Der ganze Apparat wog samt Maschine und Kessel nahe 295 Kilogramm. Er sollte einen Mann tragen. Außer den Flügeln scheint der Apparat, der vorliegenden Zeichnung zufolge, noch mit zwei oder drei kleinen starren flügelförmigen Tragflächen ausgestattet zu sein. Das Flugwerk ist auf Rädern postiert. Zu eigentlichen Flugversuchen ist es wegen des angeblich zu schweren Motors nicht gekommen. Im gleichen Jahre führte Middleton der aeronautischen Gesellschaft in London zwei größere Modelle von Schwingenfliegern vor. Das eine wog 9 Kilogramm und hatte eine Spannweite von 4 Meter, das andere hatte ein Gewicht von rund 5 Kilogramm und klafterte nahe 3 Meter. Das kleinere Modell erhob sich nach einigen Flügelschlägen von der horizontalen Führungsschnur, fiel aber bald wegen mangelnder Stabilität wieder zurück. Bei einem zweiten Versuch zerbrach der rechte Flügel.

Quartermain experimentierte 1890 mit einem großen, zum persönlichen Kunstflug dienenden Schwingenflieger. Dieser hatte vier Flügel in der Form jener eines Hirschkäfers von 3 Meter Länge und 0·6 Meter Breite. Das Gesamtareal betrug 8·3 Quadratmeter. Einschließlich 96 Kilogramm für das Fliegergewicht wog der ganze Apparat 158 Kilogramm. Die Flügel wurden mittels Hand- und Fußkraft bewegt. Jeder einzelne Fußtritt löste einen Doppelschlag aus. Quartermain gibt an, durch den Flügelschlag einen Auftrieb von mehr als 95 Kilogramm erzielt zu haben.

Nach zahlreichen Studien mit größeren Modellen entwarf Moore das Projekt eines großen Schwingenfliegers. Dieser sollte eine Flügelfläche von 9 Quadratmeter und ein Gewicht von rund 115 Kilogramm erhalten. Als Vorbild für seine Modelle nahm Moore den Kalong oder fliegenden Hund. Dieser ist das größte fliegende Säugetier. Er wiegt im Mittel 1·3 Kilogramm und hat eine Klafterweite von 1·2 Meter. Das Flügelareal erreicht 0·8 Quadratmeter.

Sehr bemerkenswert sind die von Stentzel mit einem großen Flügelfliegermodell angestellten Versuche. Der Apparat gleicht einem großen Vogel von 6·4 Meter Spannweite. Die Flügel haben eine größte Breite von 1·7 Meter und sind im Verhältnis 1 : 12 gewölbt. Angetrieben werden sie durch einen mit komprimierter Kohlensäure gespeisten Zylindermotor, der drei Pferdekräfte leisten kann. Der Motor wiegt 17·5 Kilogramm. Um das Gesamtgewicht des Apparates von 33 Kilogramm in Schwebe halten zu können, ist eine Spannung von $6^1/_2$ Atmosphären nötig, entsprechend einer Leistung von 1·5 Pferdekräften. Der Apparat macht in zehn Sekunden 14 Flügelschläge; diese sind so kräftig, daß

Digitized by Google

eine Person von 75 Kilogramm Gewicht für Augenblicke in Schwebe gehalten werden konnte. Im freien Fluge wurde das Modell nicht erprobt, es lief längs eines horizontal gespannten Seiles. Es scheint, daß die Stabilität des Modelles mangelhaft war. Bei der großen Amplitude der Flügelschläge mußte der Rumpf stark hüpfende Bewegungen ausführen. Diese stören das Gleichgewicht in der Flugrichtung.

Persönlicher Kunstflug und Motorflug. Man muß in der Entwicklungsgeschichte des Schwingenfliegers die Motorflieger und den persönlichen Kunstflug streng voneinander halten. Die Motorflieger sollen durch irgendeinen mechanischen Motor angetrieben werden, bei den Kunstfliegern dient die Muskelkraft des Menschen als alleinige Triebkraft. Wegen des historischen Zusammenhanges, der zwischen beiden Typen besteht, schien es nicht zweckmäßig, diese zu trennen. Der Motorflieger hat sich ja aus dem Kunstflieger entwickelt, als die zahlreichen Versuche mit Kunstfliegern ergaben, daß die Kraft des Menschen nicht hinreicht, einen Schwingenflieger längere Zeit in Schwebe zu halten. Die Kunstflieger sind entweder unmittelbare, direkte Kopierungen des Flugapparates der Vögel, bzw. der Fledermäuse, oder man beschränkt sich bloß auf die Nachahmung des Prinzipes der organischen Flieger.

Die Propeller des Schwingenfliegers können nach Art der Vogelflügel eine oszillierende Bewegung ausführen oder im Kreise herumlaufen, also rotierend bewegt werden, wobei die Achse der Rotation horizontal und parallel zur Flugrichtung liegt. Das einzige Beispiel für letztere Type ist das „Segelrad“ von Professor Wellner. Schwingenflieger mit oszillierendem Propeller bezeichnen wir als Gradschwinger, wenn die Bewegung aller Flügelpunkte geradlinig ist, wir nennen sie Bogenschwinger, wenn die Flügel nach Art der natürlichen Flieger im Bogen auf und nieder schwingen, und Drehschwinger, wenn die Flügel rotierende Bewegungen ausführen.

Bei den Geradschwingern kann bloß ein einziger Flügel vorhanden sein, bei den Bogenschwingern sind die Schwingen immer paarweise um die Medianebene angeordnet. Bei den Drehschwingern wird gewöhnlich eine größere Anzahl von Schwingen wie die Schaufeln beim Schaufelrad in Kreise angeordnet.

Die Ballonflugmaschine. Versieht man eine Volere, die nicht imstande ist, durch den aerodynamischen Auftrieb ihres Sustensors allein sich vom Boden abzuheben, mit einem genügend großen Entlastungsballon, so haben wir eine Ballonflugmaschine vor uns. Diese stellt also eine Verquickung der Prinzipien des aerodynamischen und des aerostatischen Fluges dar. Das Prinzip der teilweisen Entlastung hat namentlich für den aeronautischen Laien etwas Bestechendes. Die Argumentation klingt ja so überzeugend: Den Ballon kann man ohne Schwierigkeit in lotrechtem Sinne steuern. Aber mit freier Bewegung in der Horizontalen happert es. Bei der Flugmaschine ist es gerade umgekehrt. Die Fortbewegung in der Horizontalen würde wohl keine Schwierigkeit bieten, wenn einmal der Aufstieg gelungen ist. Die Idee war deshalb naheliegend, das Auftriebsmanko der Flugmaschine durch den Auftrieb eines entsprechend großen Entlastungsballons gutzumachen.

Digitized by Google

Die Drachenflieger.

Geschichtliches.

Die ersten Projekte von Drachenfliegern und die ersten Versuche mit Modellen. Von Henson bis Stringfellow.

Das erste Projekt eines Drachenfliegers stammt von dem Engländer Henson aus dem Jahre 1842. Obwohl der Apparat im großen nie ausgeführt wurde, verdient er doch einiges Interesse. Nach den vorliegenden Beschreibungen und Zeichnungen sollte der Apparat aus einer einzigen rechteckförmigen Tragfläche von etwa 40 Meter Länge und 10 Meter Breite bestehen. An der Rückseite war ein großer horizontaler Schweif von zirka 15 Meter Länge, der zusammengefaltet und auseinandergebreitet werden konnte und zur Steuerung im lotrechten Sinne dienen sollte. Unter dem Schweif befand sich ein vertikales Steuer zur Lenkung in horizontaler Richtung. Die Seitensteuerung sollte aber auch vermittels der Propellerräder selbst, durch Änderung der Tourenzahl derselben erfolgen. In der Mitte der Tragfläche befand sich ein auf Rädern ruhendes, mit Stoff überspanntes Gehäuse zur Aufnahme des Motors und der Bemannung. Zum Antrieb sollten zwei hinter der Tragfläche nebeneinander angebrachte Schraubenräder dienen, die nach Art der Windmühlräder konstruiert waren. Als motorische Kraft war eine Dampfmaschine von 20 Pferdekräften vorgesehen. Die Bespannung der Tragflächenrahmen war mit geölter Seide gedacht. Über der Tragfläche war in der Richtung von vorn nach hinten durch die Mitte ein senkrechtes Segel gespannt, ein Leinwandkiel zur besseren Kurshaltung. Der Abflug sollte mittels einer geneigten Ebene ausgeführt werden. Das Gesamtgewicht des Apparates war mit 1360 Kilogramm projektiert, die Tragfläche sollte 410 Quadratmeter betragen, der Schweif nahe 140 Quadratmeter; das gäbe zusammen eine Fläche von 550 Quadratmeter. Es ist kein Zweifel, daß der von Hensen projektierte Drachenflieger in der Ausführung nach obigen Zahlenangaben ganz sicher nicht flugfähig gewesen wäre, schon wegen der viel zu geringen Wirkung der Windmühlräder. Auch die Möglichkeit der Herstellung von so ungeheuren Tragflächen, ohne wesentliche Überschreitung des projektierten Gewichtes, muß wenigstens für die Zeit der Konzipierung des Projektes, d. i. vor mehr als 60 Jahren, in Frage gestellt werden. Trotz alledem darf die Aufstellung des Projektes als eine hervorragende intellektuelle Leistung angesehen werden.

Im Jahre 1844 konstruierte Henson in Gemeinschaft mit Stringfellow ein Modell seines Drachenfliegers. Dieses hatte eine Tragfläche von 6 Meter Länge und 1 Meter Breite, die Tragfläche betrug $6^1/_2$ Quadratmeter. Das Gesamtgewicht war 11 bis 12 Kilogramm. Der Antrieb erfolgte durch zwei vierflügelige Windräder von 0·9 Meter Durchmesser, die sich mit 300 Touren pro Minute drehten. Der Apparat erwies sich als unstabil, er kippte einmal nach vorn, dann wieder nach hinten, konnte deshalb nicht zum freien Fluge gebracht werden. Stringfellow begann 1846 allein ein neues Modell in kleineren Dimensionen zu bauen. Die Tragfläche klafterte 3 Meter; sie hatte die Form von

Digitized by Google

Vogelflügeln mit elastischem Hinterrand und war ein wenig gewölbt an der Unterseite. Das Areal der Tragfläche betrug $1^1/_2$ Quadratmeter. Die Propeller hatten 0·4 Meter Durchmesser; sie besaßen 4 Flügel, die drei Viertel des Umfanges einnahmen und in einem Winkel von 60 Grad eingestellt waren. Als motorische Kraft diente eine kleine Dampfmaschine mit Zylindern von 18 Millimeter Durchmesser und 50 Millimeter Länge. Das Gesamtgewicht des Apparates betrug 2·7 Kilogramm. Stringfellow ließ das Modell auf einem horizontal gespannten Draht laufen. Das Gleichgewicht war mangelhaft. Der Apparat vermochte sich nicht vom Drahte abzuheben. Aus dem Jahre 1852 stammt ein Projekt von Loup, das durch die Form der Tragfläche und die Pro-

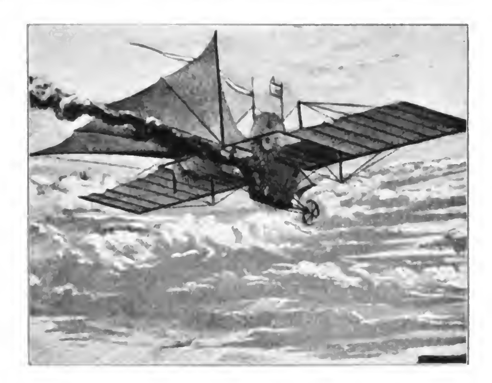


Fig. 119. Erstes Drachenfliegerprojekt von Henson.
Flugrichtung von links nach rechts. Antrieb durch zwei nebeneinander hinter der Tragfläche angeordnete Schraubenräder.

peller charakteristisch ist. Die Drachenfläche hat die Gestalt eines Deltoides, dessen Symmetrieebene in der Flugrichtung liegt. Zwischen den beiden Dreiecken der Deltoidfläche sind die beiden Propeller nebeneinander angeordnet; diese gleichen in Form und Bau den ausgespannten Flügeln eines Adlers und rotieren um eine durch die Symmetrieebene gehende horizontale, parallel zur Flugrichtung liegende Achse.

Carlingford publizierte im Jahre 1856 das Projekt eines Drachenfliegers, dessen Tragfläche dem Umrisse eines mit halbeingezogenen Flügeln niedergleitenden Falken gleichen. Die Tragfläche ist an der Unterseite, parallel zur Flugrichtung, leicht nach oben gewölbt. Als Propeller ist eine Luftschraube mit einer Flügelneigung von 45 Graden vorgesehen; sie soll als Zugschraube wirken, ist also vor der Tragfläche in der Symmetrieebene des Apparates angebracht. Ein Drachen-

Digitized by Google

fliegerprojekt, das bezüglich mancher Details interessant ist, rührt von Felix du Temple aus dem Jahre 1857 her. Der Apparat bestand aus mit Seide bespannten, durch gekrümmte Rippen versteiften Flügeln und einer bootähnlichen Gondel, die mittels dreier Räder auf langen einziehbaren Beinen postiert war. Die Beine waren so abgemessen, daß die Tragfläche unter einem Winkel von 20 Graden gegen den Horizont eingestellt war. Der Apparat war mit einem Horizontal- und einem Vertikalsteuer versehen. Überraschend ist die außerordentlich geringe Bemessung der erforderlichen Motorkraft. Der projektierte Drachenflieger sollte gegen 1000 Kilogramm und mit einer Motorkraft von bloß 6 Pferdekräften zum Fliegen gebracht werden können. Zum

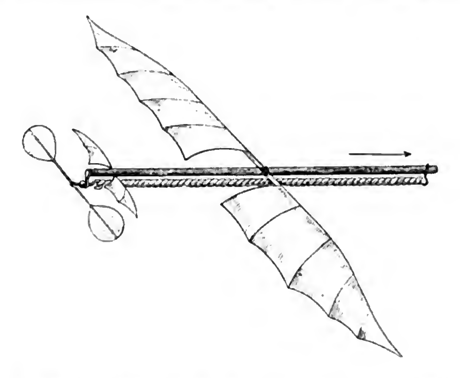


Fig. 120. Erstes freifliegendes Drachenfliegermodell von Alphonse Pénaud. Angetrieben durch tordierte Gummischnüre mittels zweiflügeliger Luftschraube. Kleine Fläche vor der Schraube dient als automatischer Stabilisator in der Flugrichtung, verhindert das Kippen nach vorn oder hinten. Der Pfeil zeigt die Flugrichtung an.

Vortrieb diente eine an der Stirnseite unterhalb der Tragfläche angebrachte große Schraube mit vielen Flügeln.

du Temple stellte auch zahlreiche Versuche an mit vogelähnlichen Modellen. In Gemeinschaft mit seinem Bruder Louis begann er später im großen zu experimentieren. Als Antriebskraft diente zuerst eine Hochdruckdampfmaschine, dann eine Heißluftmaschine. Im Jahre 1876 konstruierten sie einen leichten Dampfkessel, der nur 18 bis 20 Kilogramm pro Pferdekraft wog. Er bestand aus einer Reihe von sehr dünnen Rohren von weniger als 3 Millimeter innerem Durchmesser, durch die das Wasser sehr rasch zirkulierte und durch die umgehenden Flammen in Dampf verwandelt wurde. 1874 wurde dann in Brest ein großer Apparat gebaut, der einen Mann tragen sollte und 12 Meter klafterte. Das Gewicht betrug 72 Kilogramm. Nach Tissandier konnte

Digitized by Google

trotz aller Bemühungen kein praktisches Ergebnis erzielt werden. Die Details der Versuche sind nicht bekannt geworden.

Der Pariser Mechaniker Jullien baute 1858 ein Drachenfliegermodell, das bloß 35 Gramm wog, obwohl die Tragfläche 97 Zentimeter Spannweite hatte. Angetrieben wurde der Apparat durch zwei zweiflügelige Luftschrauben, die durch ein über zwei konische Spulen von gleichem Durchmesser gewundenes Gummiband angetrieben wurden. Der Neigungswinkel der Tragfläche betrug gegen 10 Grad. Das Modell legte in gerader Linie 18 Meter in 5 Sekunden zurück.

Eine recht originelle Idee findet sich in dem Drachenfliegerprojekt von Smithies aus dem Jahre 1860. Dieser wollte die Drachenflächen als Dampfkondensatoren verwenden. Die Tragflächen haben die Form von zwei Dreiecken, die mit den Spitzen zusammenstoßen; sie sollten oben und unten mit gefirnißtem dichten Seidenstoff überspannt werden, in den so entstehenden Zwischenraum sollte der Abdampf der Maschine geleitet werden. Für den Vortrieb waren zwei Flügelpropeller vor-

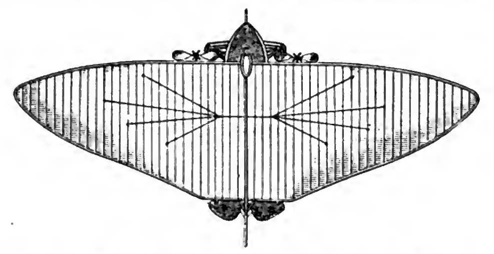


Fig. 121. Drachenfliegerprojekt von Pénaud und Gauchot.
Antrieb durch zwei an der Stirnseite angebrachte Luftschrauben. Hinter der Tragfläche senkrechtes Seitensteuer und horizontale zweiteilige Stabilisierungsfläche.

gesehen, die in der Mitte zwischen den beiden Tragflächenteilen angebracht waren. Beim Hub sollten sich die Flügelklappen ventilartig öffnen und beim Niederschlag schließen. Behufs Verlegung des Schwerpunktes konnte der Führersitz während des Fluges seitlich, vor- und rückwärts verschoben werden. Die Gondel war zur Abschwächung der Landungsstöße mit elastischen Beinen versehen.

Auf Grund eingehender theoretischer Untersuchungen über die Wirkung der Luft auf Drachenflächen und gegen die Schwingen der Vögel stellte de Louvrié im Jahre 1863 das Projekt eines Drachenfliegers auf, den er „Aéroscaphe“ nannte. Dieser sollte aus einer einzigen versteiften und zusammenfaltbaren Fläche bestehen. Als Antriebskraft war eine Schraube, bzw. auch ein Reaktionspropeller vorgesehen, betätigt durch Explosionen von Schießpulver oder ähnlichen Substanzen. Die Propellerschraube sollte unter der Tragfläche an der Vorderseite der auf Rädern laufenden Gondel angebracht werden. Später modifizierte de Louvrié sein erstes Projekt. Die Tragfläche

Digitized by Google

sollte zur Erhaltung der seitlichen Stabilität mit einem Kiel versehen werden. Ferner wurde eine Methode zur Spannung der Tragfläche vermittels einstellbarer radialer Rippen angegeben. Als Antriebsmotor sollte eine Heißluftmaschine verwendet werden. Unbefriedigt mit den Leistungen der Drachenflieger wandte sich de Louvrié in den achtziger Jahren den Schwingenfliegern zu. Sein Projekt eines großen Schwingenfliegers wurde schon erwähnt. De Louvrié hat sich um die Förderung der Flugtechnik große Verdienste erworben, und zwar weniger durch die Aufstellung seiner Projekte, als durch die Durchführung von messenden Versuchen über den Auf- und Rücktrieb von Drachenflächen, vor allem aber durch seine grundlegenden theoretischen Studien. Auf diese Arbeiten de Louvriés kommen wir in einem eigenen Abschnitte noch zu sprechen.

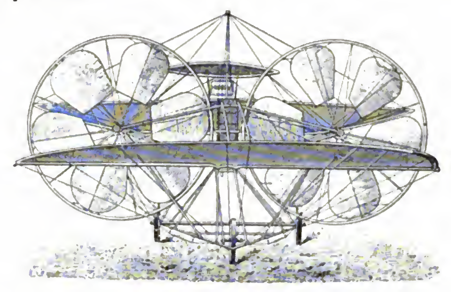


Fig. 122. Drachenfliegermodell von Moy.
Drei Tragflächen hintereinander von vorn nach hinten aufsteigend (Triasklin). Antrieb durch zwei seitliche, zwischen der ersten und zweiten Tragfläche angebrachte Schraubenräder. Apparat auf drei Räder montiert.

Einen erheblichen Fortschritt bezeichnen die im Jahre 1866 begonnenen Studien von W e n h a m mit übereinandergestellten Tragflächen. Es gelang ihm, damit eine erhebliche Vergrößerung der Tragfläche ohne Gewichtsvermehrung zu erzielen. Wenham baute nach Versuchen mit kleineren Modellen einen Apparat mit fünf übereinandergestellten Tragflächen mit einem Gesamtareal von 9·3 Quadratmeter. Das Tragflächengerüste bestand aus einer horizontalen Stange mit zugeschärften Enden, die Stange war in der Mitte mit zwei gleichen, im Winkel mit der Spitze nach oben gestellten Stangen verbunden und bildete so einen Teil der Basis eines gleichschenkligen Dreieckes, dessen Schenkel nach unten zu um ihre eigene Länge vorstanden. Von den unteren Enden der Dreieckschenkel zu den Enden der horizontalen Stangen liefen zwei Stahlbänder zur Versteifung; ebenso waren die Enden der Hauptstange mit der Dreieckspitze versteift. An den Enden der Stange waren weiters zwei senkrechte Stäbe angebracht. Zwischen diesen Stäben waren in horizontaler Richtung fünf

Digitized by Google

Stoffflächen gespannt von je 38 Zentimeter Breite und 4·8 Meter Länge. In heftigem Winde konnte der Apparat kaum beherrscht werden. Während eines Abflauens des Windes stellte sich der Experimentator in das Dreieck des Rahmens, indem er die Brust gegen die Basisstange stützte. Ein plötzlicher Windstoß hob den Flieger ab; dieser wurde eine Strecke weit getragen und fiel seitwärts zu Boden, wobei die rechte Seite der Tragfläche gebrochen wurde. Wenham

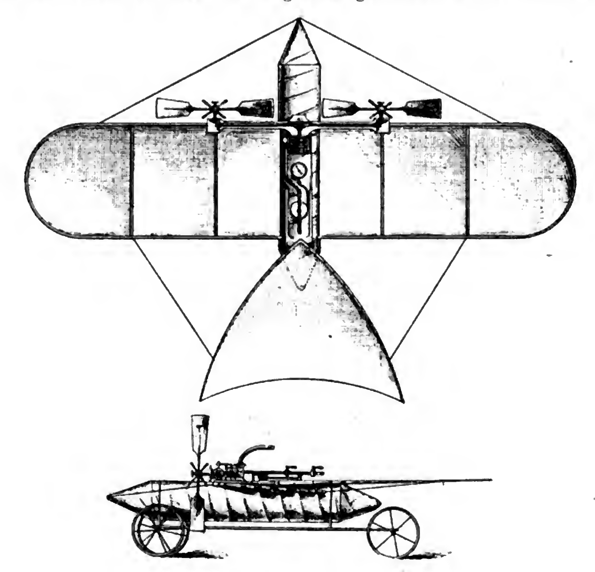


Fig. 123. Drachenfliegermodell von Tatin.
Antrieb durch komprimierte Luft. *A* Apparat von oben, *B* von der Seite.

baute einen neuen Apparat, der wesentliche Verbesserungen im Versteifungsrahmen aufweist. Die Dimensionen der Tragflächen waren die gleichen, deren Zahl um eine vermehrt, so daß das gesamte Flächenareal etwas über 11 Quadratmeter betrug. Das Versteifungsgerüste bestand aus einer Art Brückenkonstruktion. Mit einer horizontalen Hauptstange waren lotrecht nach oben 9 Stäbe verbunden, zwischen denen die Tragflächen gespannt waren. Nach unten zu gingen, von außen nach der Mitte an Länge zunehmend, 8 senkrechte Träger, die durch Stahlbänder versteift waren. In der Mitte war der Expe-

Digitized by Google

rimentator in horizontaler Lage suspendiert. Der Vorder- und Hinterrand der Tragflächen war mit einem Krinolinenstahlband versteift, die Seitenränder durch Stäbe. Die Distanz je zweier Tragflächen betrug 0·6 Meter. Durch ein horizontales, in der Mitte angebrachtes Bugspriet, wurde das Tragflächengerüst gegen Verbiegungen in der Horizontalen versteift. Zum Vortrieb dienten zwei lange ruderförmige Flügelpropeller, die an der Stirnseite des Apparates angebracht waren und vom Flieger mittels Schnüren, die über Rollen liefen, durch Beinkraft niedergeschlagen wurden. Der Hub erfolgte automatisch durch Federkraft. Streckte der Flieger das eine Bein weiter als das andere aus, so wurde die Amplitude des Flügelschlages auf der entsprechenden Seite größer, der Flügelantrieb deshalb stärker und der Apparat mußte sich nach der entgegengesetzten Seite drehen. Auf diese Weise sollte die Steuerung des Apparates in horizontaler Richtung erfolgen. Bei den Versuchen erwies sich die Versteifung der Tragflächen durch

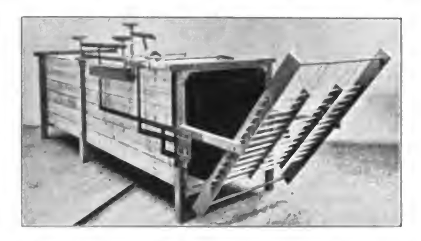


Fig. 124. Apparat zur Messung des Auf- und Vortriebes von Drachenflächen von Maxim.

Stahlbänder als nicht zweckmäßig, diese wurden deshalb durch Stäbe ersetzt, was aber eine erhebliche Gewichtsvermehrung zur Folge hatte. Bei einer Windgeschwindigkeit von 5 bis 7 Meter in der Sekunde war der Auftrieb der Flächen genügend groß, aber die ungleichförmige Windströmung in Bodennähe machte die Erprobung des Apparates recht schwierig. „The capricious nature of the groundcourrents is a perpetual source of trouble“.[1]) Wenhams Apparat besaß ersichtlich eine sehr geringe longitudinale Stabilität. Damit werden wir zum zweiten Hauptproblem des ballonfreien Fluges geführt, es ist dies das Stabilisierungsproblem.

Alle bisher aufgezählten Projekte wären, abgesehen von der Kraftfrage, wohl an dem Mangel der longitudinalen Stabilität gescheitert. Einen erheblichen Fortschritt nach dieser Richtung bezeichnet das Projekt von Butler und Edward aus dem Jahre 1867. Die Drachenfläche hat die Form eines sehr spitzwinkeligen Dreieckes, die Spitze nach der Flugrichtung gekehrt. Zur Erhaltung des Kurses dient

[1]) Die launische Natur der Bodenströmungen ist eine Quelle ständiger Plackerei.

Digitized by Google

eine lotrechte mediane Fläche. Um seitliche Schwankungen zu verhindern, ist die Tragfläche gekielt, d. h. der äußere Rand derselben liegt höher als der Mittelteil. Der Motor ist in der Flugrichtung verschiebbar angeordnet. Als Triebkraft dient ein Dampfmotor, der einen Dampfstrahl horizontal nach rückwärts bläst; außerdem waren aber auch Schraubenpropeller vorgesehen. Der Dampf sollte in den Tragflächen kondensiert werden; diese waren deshalb mit einem doppelten Überzug versehen. In den so entstehenden Hohlraum wurde der Abdampf geleitet. Es ist dies dieselbe Idee, welche schon von Smithies ausgesprochen wurde, und die dann in dem großen Drachenflieger von Maxim auch tatsächlich zur Durchführung gebracht wurde. Eine recht originelle Idee von Butler und Edward ist auch der Vorschlag, zwei oder mehrere Apparate durch Übereinander- und Nebeneinanderstellung

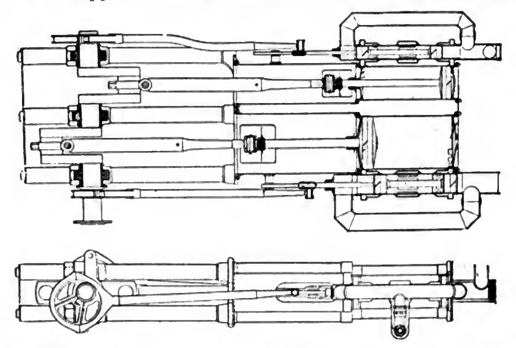


Fig. 125. Schema der Dampfmaschine für Maxims großen Drachenflieger.

zu verbinden und gegenseitig so zu versteifen, daß sie ein einziges Ganze bilden. Man kann darin vielleicht einen Anklang an das in neuerer Zeit von Jarolimek mit großem Nachdruck verfochtene Gliederungsprinzip sehen.

Der Engländer Stringfellow, dessen erste Arbeiten schon besprochen wurden, beteiligte sich mit zwei Modellen an der aeronautischen Ausstellung in London und meldete diese gleichzeitig für den von der englischen aeronautischen Gesellschaft ausgeschriebenen Wettbewerb für Modelle an. Das erste Modell hatte drei übereinandergelagerte Tragflächen in der Form von schmalen Rechtecken. Das Areal der gesamten Tragfläche war 2·6 Quadratmeter, dazu kam noch ein horizontaler Schweif von 0·7 Quadratmeter. Das Gesamtgewicht des Apparates samt Motor, Kessel, Heizung und Speisewasser war nicht ganz 5·4 Kilogramm. Als Motor diente eine Dampfmaschine, die zwei zweiflügelige Schrauben antrieb, welche hinter den Tragflächen nebeneinander angeordnet waren. Der Motor leistete angeblich ein

Digitized by Google

Drittel Pferdekraft. Die Maschine lief auf einem Draht, vermochte sich aber von diesem, auch wenn die Propeller mit der größtmöglichen Tourenzahl liefen, nicht abzuheben. Stringfellow behauptete indes, daß sie dies zuweilen doch getan habe. Die Schuld an dem ungenügenden Auftrieb wird zum Teil dem Mangel an genügender longitudinaler Stabilität zugeschrieben, der Hauptgrund soll aber darin zu suchen sein, daß die Schraubenachsen in der Ebene der Tragflächen lagen, so daß sie ohne jede Schiefstellung waren und folglich auch nur einen sehr geringen Auftrieb geben konnten. Das zweite Modell hatte eine Maschine von $^1/_2$ Pferdekraft. Der Zylinderdurchmesser war 51 Millimeter, die Länge 76 Millimeter. Die Kesseloberfläche betrug 0·3 Quadratmeter. Der Schraubendurchmesser war 0·9 Meter, die Tourenzahl betrug gegen 300 in der Minute. Mit

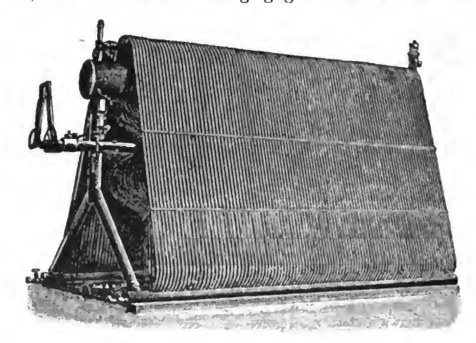


Fig. 126. Röhrenkessel für die Dampfmaschinen des Maximschen Drachenfliegers.

$3^1/_2$ Tints Wasser und 10 Ounces flüssigem Brennstoff (Methylalkohol) lief der Motor gegen 10 Minuten.

Das Modell wog komplett ausgerüstet 7·4 Kilogramm. Die Jury schätzte die Leistung des Motors auf eine volle Pferdekraft. Das Gewicht des Motors und des Kessels allein betrug 5·4 Kilogramm. Stringfellow erhielt einen Preis für die leichteste Maschine im Verhältnis zur geleisteten Arbeit. Wenn auch die Modelle von Stringfellow nicht flugfähig waren, bezeichnen dieselben dennoch einen außerordentlichen Fortschritt hinsichtlich der Detailkonstruktion und der ganzen Architektonik des Apparates. Eine hervorragende Leistung war der von Stringfellow konstruierte Dampfmotor, der im Verhältnis zu seiner Leistung die leichteste bis dahin gebaute Kraftmaschine darstellt.

Kaufmann stellte 1868 in London ein großes, 19 Kilogramm schweres Modell eines Drachenfliegers aus, das durch zwei lange Flügelpropeller angetrieben wurde. Die Flügelfahnen waren so ge-

Digitized by Google

baut, daß sie sich beim Schlag nach hinten aufdrehten, wodurch eine erhebliche Vermehrung des Zuges eintritt. Die Tragfläche bestand anscheinend aus drei übereinander gestellten Flächen. Als motorische Kraft diente eine Dampfmaschine. Der Apparat war auf Räder montiert. Bei einem Versuche zerbrachen die Flügelpropeller. Kaufmann projektierte nach dem Modell einen großen Apparat von 3000 bis 3500 Kilogramm Gewicht.

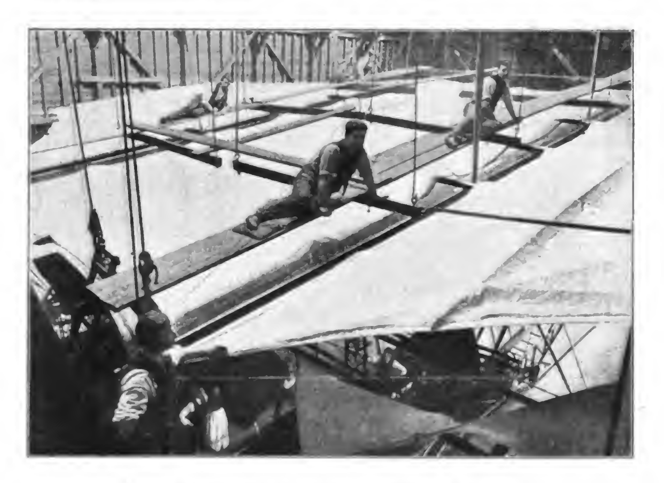


Fig. 127. Drachenflieger von Hiram Maxim.

Bespannung des Tragflächengerüstes. Zur Versinnlichung der gigantischen Dimensionen des Apparates. Man erkennt das Schienengeleise, auf dem der Apparat montiert ist, und die Figuren der am Boden stehenden Personen. Rechts unten die Konturen einer der Propulsionsschrauben.

Auf der gleichen Ausstellung war ein Apparat von Ch. Spencer exponiert, ein Drachenflieger mit Flügelpropellern zur Ausführung des persönlichen Kunstfluges. Der Apparat bestand aus einer gekielten Tragfläche von nahe 13 Quadratmeter Inhalt und wog rund 11 Kilogramm. Der Antrieb erfolgte durch zwei Flügelpropeller von je 1·4 Quadratmeter Inhalt. Einen Hügel herablaufend, soll es Spencer gelungen sein, mit seinem Apparate Strecken von 30 bis 40 Meter frei in der Luft zurückzulegen. Da das Gesamtgewicht des Apparates samt Flieger bloß 74 Kilogramm war und die Tragfläche ein Areal von rund 16 Quadratmeter erreichte, wird man die erzielte Flugweite wohl wesentlich auf Rechnung der Gleitwirkung zu setzen haben.

Digitized by Google

Die bisher kurz beschriebenen Projekte von Drachenfliegern enthalten wohl manchen originellen Gedanken, die Flugfähigkeit der nach ihnen gebauten Apparate muß aber in Zweifel gezogen werden, zum Teil wegen ungenügender Antriebskraft, hauptsächlich aber wegen mangelnder Stabilität in der Lotebene der Flugrichtung. Auch die von Stringfellow gebauten größeren Modelle, deren Motor ein kleines Meisterwerk war und wohl imstande gewesen wäre, reichlich die nötige Arbeit zur Erzielung eines freien Fluges zu liefern, scheiterte an dem Mangel der Stabilität. Das Kraftproblem konnte mit der Herstellung des Stringfellowschen Dampfmotors als gelöst betrachtet werden. Es blieb nun noch die Lösung des zum mindesten ebenso schwierigen Problems der Erzielung einer automatischen Stabilität. Die Lösung des Stabilisierungsproblems gelang dem Franzosen Pénaud, ihm gebührt auch der Ruhm, das erste freifliegende Modell eines Drachenfliegers gebaut zu haben.

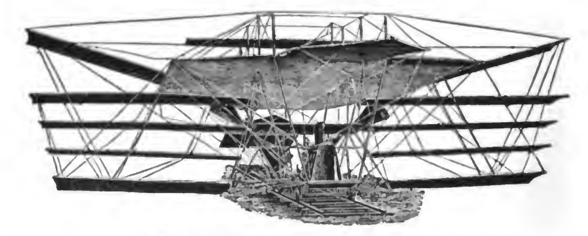


Fig. 128. Drachenflieger von Maxim.
Zeichnung des Apparates schräg von vorne gesehen mit den fünf Paaren seitlicher Flügel.

Die ersten freifliegenden Modelle von Drachenfliegern und die ersten Versuche mit großen Apparaten. Die grundlegenden Arbeiten von Alfred Pénaud bedeuten eine neue Phase in der Entwicklung des Drachenfliegers. Pénaud hat ein genial einfaches Modell eines Drachenfliegers gebaut und dieses tatsächlich zum freien stabilen Fluge gebracht. Pénauds „Planophore" besteht aus einem 50 Zentimeter langen Stabe, der an den beiden Enden Ösen besitzt zur Fixierung eines Bündels von Kautschukfäden. Senkrecht zu diesem Stabe ist ungefähr in seiner Mitte die vogelflügelartig geformte Tragfläche befestigt; diese besteht aus einem 45 Zentimeter langen vorderen steifen Stäbchen, von dem eine Reihe von Querrippen ausgehen, welche gegen die Spitzen zu kürzer werden. Die größte Breite der Tragfläche beträgt 11 Zentimeter. Der Vorderrand der Tragfläche ist steif, der Hinterrand biegsam. Die Spitzen der Tragflächen sind schwach nach oben aufgebogen. Am rückwärtigen Ende des Stabes, gerechnet in der Flugrichtung, ist eine zweiflügelige Schraube von 20 Zentimeter Durchmesser angebracht. Die Schraubenachse läuft durch

Digitized by Google

eine Öse, ist dann zu einem Haken umgebogen, der zur Fixierung des hinteren Endes der Gummikordel dient. Durch Drehen der Schraubenflügel wird das Gummibündel tordiert; die auf diese Weise in den Gummifäden aufgespeicherte Torsionsarbeit bildet die Antriebskraft des „Planophore“. Der ganze Apparat wog bloß 16 Gramm, davon entfallen 5 auf das Gummibündel. Am Hinterende des Längsstabes, unmittelbar vor der Schraube, war eine ganz kleine Fläche in der Form der Tragfläche so befestigt, daß der Hinterrand ein wenig höher lag als der Vorderrand. Diese Fläche, das sogenannte Pénaud-Steuer, bildet die prinzipiellste Neuerung am „Planophore“. Sie stellt ein automatisch wirkendes Horizontalsteuer dar zur Verhinderung eines Umkippens nach vorn oder hinten. Die automatische Wirkung des Pénaud-Steuers erhellt aus folgender Überlegung: Die Tragfläche ist an dem Längsstabe so angebracht, daß der Schwerpunkt des Appa-

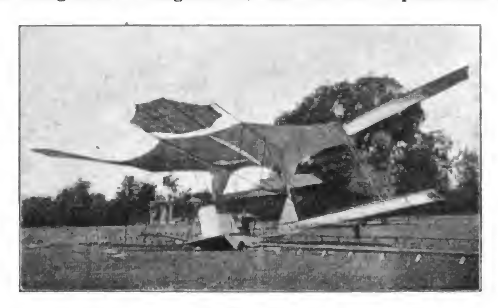


Fig. 129. Drachenflieger von Maxim.
Nach einem Unfall. Apparat aus den Schienen gehoben und quergestellt. Linke untere Tragfläche gebrochen.

rates ein wenig vor dem Druckmittelpunkt der Tragfläche zu liegen kommt. Läßt man also den Apparat als Gleiter fallen, so wird er die Tendenz haben, nach vorne zu kippen. Nun werde der Kautschuk tordiert und der Apparat aus einer größeren Höhe über dem Boden horizontal losgelassen. Der Flieger wird rasch die Schwebegeschwindigkeit erreichen, bei der er, ohne zu sinken, sich in der Luft zu halten vermag. Den Druck der Luft gegen die Tragfläche des Apparates, deren Vorderrand ein wenig höher liegt als der Hinterrand, können wir in einem einzigen Punkt uns vereinigt denken, den wir als Auftriebszentrum oder Druckmittelpunkt bezeichnen. In diesem Auftriebszentrum können wir uns den Apparat suspendiert denken. Drehbewegungen des schwebenden Apparates erfolgen nicht um den Schwerpunkt, sondern um das Auftriebszentrum. In der Längsrichtung wirken auf den schwebenden Flugkörper zwei Kräfte nach entgegengesetzten Richtungen. Infolge der Überlastung des Vorder-

Digitized by Google

teiles sucht dieser sich nach unten zu drehen. Wegen der Aufdrehung des Pénaud-Steuers nach rückwärts erfährt dieses einen Druck von oben, der das Hinterende des Apparates nach unten zu drehen strebt. Sind die beiden Drehkräfte gleich groß, so wird der Flieger weder eine Tendenz zum Vornüberkippen noch zum Aufdrehen zeigen, sondern sich in gerader Richtung vorwärts bewegen. Das Gleichgewicht in horizontaler Richtung ist aber kein statisches, sondern ein dynamisches, es entsteht erst durch die Bewegung. Das Pénaud-Steuer hat also die Aufgabe, der abdrehenden Tendenz der Überlastung des Vorderteiles das Gleichgewicht zu halten. Man könnte meinen, das Pénaud-Steuer dadurch ganz entbehrlich zu machen, daß man die Tragfläche am Längsstabe einfach ein wenig nach rückwärts verlegt, um dadurch die



Fig. 130. Drachenflieger von Maxim.

Unfall bei dem berühmten im Text beschriebenen Versuche. Seitenschiene gebrochen. Schienengeleise gut sichtbar. Links oben ein Schraubenflügel zur Hälfte sichtbar.

Überlastung des Vorderteiles zu beseitigen. Dies ist aber nicht zutreffend. Wenn nämlich der Schwerpunkt des Apparates genau unter das Auftriebszentrum zu liegen käme, würde der Flieger sich in einem Zustande labilen Gleichgewichtes befinden. Bei der geringsten Störung würde das fliegende System nach vorn oder hinten umkippen. Durch das Pénaud-Steuer erhält also der ganze Apparat gleichsam eine feste Führung, eine dynamische Fesselung in der Luft, die ihn befähigt, Störungen des Gleichgewichtes automatisch zu dämpfen und sie dadurch unwirksam zu machen.

Die erste öffentliche Demonstration seines kleinen Fliegers gab Pénaud im August 1871 im Tuileriengarten vor einer Reihe von Mitgliedern der aeronautischen Gesellschaft. Die Schraubenflügel wurden behufs Tordierung der Gummibündel 240 mal umgedreht. Der Apparat durchflog 40 Meter in 11 Sekunden. Die Schwebegeschwindigkeit war

Digitized by Google

also infolge der relativ großen Tragfläche von 4·9 Quadratdezimeter kleiner als 4 Meter pro Sekunde.

Die Erfindung des Pénaud-Steuers bedeutet einen großen Fortschritt in der Flugtechnik. Auch durch den Bau seines Planophore-Modells hat Pénaud ungemein anregend auf die Entwicklung des ballonfreien Fluges gewirkt. Wenn auch das Ding nur 16 Gramm wog, stellte es doch den ersten Drachenflieger dar, der einen längeren freien Flug zustande brachte und noch dazu mit genial einfachen Mitteln. Über die theoretischen Arbeiten Pénauds, welche gleichfalls von großer Bedeutung sind, wird an anderer Stelle noch berichtet werden.

Die meisten, um nicht zu sagen alle, der bisherigen flugtechnischen Schriften haben sich darauf beschränkt, die aeronautischen

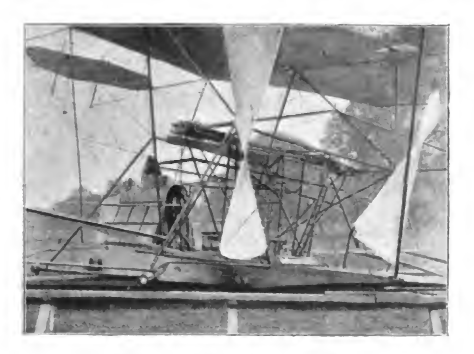


Fig. 131. Drachenflieger von Maxim.

Nach dem Unfall. Apparat schräg von hinten. Die beiden Schrauben und das Stirnsteuer gut sichtbar. Im Vordergrunde das Sicherheitsgeleise aus Holzbalken.

Biographien der Erfinder und Forscher chronologisch aneinanderzureihen. Das persönliche Element spielt noch eine sehr hervorragende Rolle. Die Wissenschaft ist aber eine höchst unpersönliche Sache. Ich wollte nun nicht wieder eine Erfindergeschichte, sondern eine Erfindungsgeschichte schreiben, ich wollte die Entwicklungsgeschichte der Flugtechnik in gedrängter Form zur Darstellung bringen, eine Aufgabe, deren Schwierigkeiten mir erst völlig klar wurden, als ich sozusagen schon mitten in der Arbeit steckte.

Im Jahre 1876 stellte Pénaud in Verbindung mit dem Mechaniker Gauchot das Projekt eines großen Drachenfliegers auf, der mit zwei Mann Besatzung fast 1200 Kilogramm wiegen sollte. Die Antriebskraft sollte von einer 20—30 pferdigen Dampfmaschine geliefert werden. Die Tragfläche hat ungefähr die Form eines gleichschenkligen stumpfwinkeligen Dreieckes mit abgestumpften Ecken. Die längere Seite

Digitized by Google

liegt senkrecht zur Flugrichtung. Die Tragfläche ist aus einem leichten Rahmenwerk hergestellt, das durch Spanndrähte und senkrechte, nach oben und unten gerichtete Stege versteift ist. Das Tragflächengerüst ist auf der Ober- und Unterseite mit gefirnißter Seide überspannt. Die äußeren Enden der Tragfläche sind biegsam und sind behufs Vermehrung des seitlichen Gleichgewichtes aufgebogen. Auch der Hinterrand der Tragfläche ist elastisch und nach oben gebogen zur Sicherung der longitudinalen Stabilität. Zur Stabilisierung in der Längsrichtung dienten ferner zwei nebeneinander knapp hinter der Tragfläche angebrachte Pénaud-Steuer. Die Kurserhaltung und die Steuerung in horizontaler Richtung besorgte ein lotrechtes, am Hinterende der Tragfläche zwischen dem geteilten Pénaud-Steuer befindliches Vertikal-



Fig. 132. Drachenflieger von Maxim.
Ansicht der abgeknickten Achse des Sicherheits-Rollrades, das an der Unterseite der seitlichen Holzschienen lief.

steuer. Die Gondel in der Form eines Bootes ist mit der Tragfläche fix versteift und liegt knapp unter ihr. Der Lenker des Apparates steht oder sitzt an der Bugseite der Gondel, so daß sein Kopf sich eben über dem Oberrande der Tragfläche befindet. In einer Hand hält er einen Hebel, mit dem er gleichzeitig das Horizontal- und auch das Vertikalsteuer einstellen kann. Gegen den Stirnwind ist der Steuermann durch eine Glaswand geschützt. Die Gondel lief auf aufklappbaren Füßen mit Rädern zum Anlauf und zur Landung. Der Antrieb erfolgt durch zwei Luftschrauben, die knapp vor der Tragfläche nebeneinander angebracht sind. Der Motor ist in der Gondel so gelagert, daß der Schwerpunkt des Apparates ein Fünftel der Distanz von der Stirnseite nach hinten liegt. Der Motor darf nach Pénaud nicht mehr als 7—10 Kilogramm pro Pferdekraft wiegen. Das Areal der Tragfläche war rund 80 Quadratmeter.

Die spezifische Flächenbelastung, d. i. pro Quadratmeter, betrug also ein wenig über $15^1/_2$ Kilogramm und das spezifische Apparatgewicht

Digitized by Google

war. 40—60 Kilogramm. Diese Werte sind wohl recht erheblich, sie liegen aber keineswegs außerhalb des Bereiches der Möglichkeit. Bei einem Schiefstellungswinkel der Tragfläche von bloß 2 Graden sollte der Apparat sich mit einer Geschwindigkeit von über 90 Kilometer in der Stunde durch die Luft bewegen. Pénaud schlug auch vor, die ersten Versuche über einer Wasserfläche anzustellen. Das Projekt von Pénaud-Gauchot ist jedenfalls allen bisher beschriebenen Drachenfliegertypen in der Detailkonstruktion weitaus überlegen. Eine Reihe von Details finden wir selbst an ganz modernen Drachenfliegerkonstruktionen verwendet.

Ein Drachenflieger mit Flügelpropeller und Schraubenantrieb wurde von Danjard im Jahre 1871 projektiert. Die Tragfläche ist in zwei flügelförmige Teilflächen aufgelöst, die hintereinander in derselben Ebene angeordnet sind. An der Stirn- und Rückseite sind dreieckige

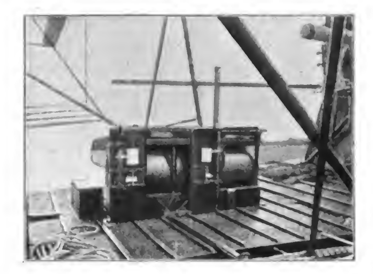


Fig. 133. Drachenflieger von Maxim.
Automatische Dynamometer und Autographen zur Messung des Auftriebes und der Geschwindigkeit.

„Fallschirm"flächen angebracht. Die vordere Fallschirmfläche ist eben und steif, um die Luft zu durchschneiden. Die zwei Tragflächen und die hintere Fallschirmfläche haben einen festen Vorderrand und einen biegsamen Hinterrand, um so einen Antrieb von der nach rückwärts entweichenden Luft zu erhalten. Unter der hinteren Fallschirmfläche war ein vertikales Steuer zur Lenkung nach links und rechts. Zwischen den beiden Tragflächen war ein Flügelpropeller, an der Rückseite der hinteren Tragfläche eine Propellerschraube angebracht. Es liegt keine Nachricht vor, ob der Apparat im großen erprobt wurde. Er hätte jedenfalls eine gute longitudinale Stabilität gezeigt.

Der Engländer Brown stellte in den Jahren 1873 und 1874 zahlreiche Versuche über die Stabilisierung von Drachenfliegermodellen an. Er ordnete zwei Flächen von gleicher Größe in derselben Ebene hintereinander an und fand, daß ein derartiges Flächensystem, das er „Aero-bi-plane" nannte, als Gleitflieger eine gute Stabilität zeigt. Später baute er neue Modelle mit rechteckigen Tragflächen. Die

Digitized by Google

geradlinige Vorderkante war steif, der Hinterrand elastisch. Die Unterseite war ein wenig gewölbt. Beide Tragflächen lagen in derselben Ebene ohne jeden Schiefstellungswinkel. Die Modelle zeigten eine vortreffliche Stabilität; diese wurde durch die Teilung der Fläche und die elastischen Hinterränder erzielt. Außerdem waren die Modelle mit einem horizontalen Schwanzsteuer versehen. Wir haben es hier eigentlich nicht mit Drachenflieger-, sondern mit Gleitfliegermodellen zu tun, da ein Propeller fehlte. Den Modellen wurde eine Anfangsgeschwindigkeit vermittelst einer gespannten Gummischnur erteilt, das eine Ende der Schnur war an einem senkrechten Stabe fixiert, das andere Ende trug einen Ring und wurde mit der Längsstange des Modelles so verbunden, daß die Verbindung sich löste, sowie die gespannte Schnur durch Loslassen des Modelles sich entspannte.

Ein recht bemerkenswerter Versuch mit einem beinahe 100 Kilogr. schweren Modell wurde von Moy im Jahre 1875 im Crystal Palace in London gemacht. Der Apparat hatte zwei Tragflächen, von denen die hintere höher lag als die vordere. Beide Flächen waren in einem Winkel von 10 Grad gegen den Horizont schief gestellt. Sie bestanden

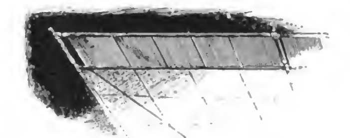


Fig. 134. Drachenflieger von Maxim.
Der von Maxim projektierte Dampfkondensator als Teil der Tragfläche ausgebildet.

aus einem Bambusgerüste, das mit Leinwand bespannt war. Die Stirnfläche hatte ein Areal von 4·6 Quadratmeter, die hintere Fläche faßte 5·9 Quadratmeter. Hinter der zweiten Tragfläche war höher als diese ein Horizontalsteuer angebracht. Zwischen den beiden Tragflächen, befanden sich die Propeller. Diese bestanden aus zwei nebeneinanderliegenden, eigenartig konstruierten Windrädern von 1·6 Meter Durchmesser. Diese Windräder hatten sechs Schaufeln, welche zunächst aus dünnen Brettchen, später aus Stoff hergestellt wurden. Die Blätter des Rades waren so konstruiert, daß sie ihre Neigung bei der Rotation änderten, so daß sie bei der Abwärtsbewegung hebend und vortreibend wirkten, während sie bei der Aufwärtsbewegung bloß einen Auftrieb gaben. Sie stellten also sozusagen Luftschrauben dar, deren Steigung in jedem Punkte ihrer Rotation veränderlich war. Der Propeller bildete auch die wesentlichste Neuerung am ganzen Apparate. Angetrieben wurden die Schraubenräder durch eine für die damalige Zeit außerordentlich leichte Dampfmaschine. Diese wog samt Kessel 36 Kilogramm und leistete 3 Pferdekräfte, das gibt also 12 Kilogramm pro Pferdekraft, eine bis dahin auch nicht annähernd erzielte Leichtigkeit. Der Zylinderdurchmesser betrug 53 Millimeter, der Kolbenhub war 76 Millimeter. Die Tourenzahl erreichte 520—550 pro Minute. Der

Digitized by Google

Röhrenkessel hatte eine Heizfläche von 0·7 Quadratmeter. Als Brennmaterial diente Spiritus. Der ganze Apparat war 4·2 Meter lang und ebenso breit. Er war auf drei Räder montiert und wog komplett 98 Kilogramm. Bei einer Geschwindigkeit von 15 Meter sollte er sich vom Boden abheben. Die Erprobung erfolgte in der Weise, daß der Apparat an eine Fesselung gebunden und in einem Kreise von 135 Meter Durchmesser herumgetrieben wurde. Es konnte bloß eine Geschwindigkeit von $5^1/_2$ Meter pro Sekunde erzielt werden, die natürlich bei weitem nicht hinreichte, den Apparat abzuheben. Zum Teil mag die ungenügende Geschwindigkeit auf Rechnung des geringen Effektes der Schraubenräder zu setzen sein. Jedenfalls war auch der Stirnwiderstand zu groß, Moy hat bei seinem „Aerial steamer" zum ersten-



Fig. 135. Drachenfliegermodell von S. Pierpont Langley.
Die Abflugvorrichtung auf einer im Potomakflusse verankerten Barke.

mal die Hintereinanderordnung der Tragflächen in aufsteigenden Stufen angewendet, eine Anordnung, welche nach den neueren Versuchen von Hiram Maxim als die günstigste anzusehen ist.

Im Jahre 1879 stellte Moy ein neues kleines Modell aus. Dieses hatte zwei gekielte Flächen von zusammen 0·5 Quadratmeter Areal und wog 680 Gramm, davon entfielen 98 Gramm auf die Gummifäden, die zum Antrieb der beiden zweiflügeligen Schrauben dienten. Die Tragflächen waren unter einem Winkel von 8 Grad schräggestellt. Bei 500 Tordierungen der Schraubenachsen lief der Apparat über eine glatte Fläche und hob sich auch zuweilen auf eine kurze Strecke vom Boden ab.

Mit einem größeren Drachenflieger experimentierte Linfield im Jahre 1879. Der Apparat bestand aus ebenen Tragflächen von 28 Quadratmeter Areal, war auf Rädern montiert und wog 86 Kilo-

Digitized by Google

gramm. Angetrieben wurde er durch eine an der Stirnseite angebrachte Schraube, welche durch den Insassen mittels langer Hebel in Rotation versetzt wurde. Bei 75 Umdrehungen in der Minute wurden auf einer makadamisierten Straße 5·3 Meter in der Sekunde erreicht. Durch Herabfahren von einem Hügel wurde eine Geschwindigkeit von nahe 9 Meter in der Sekunde erzielt, ohne daß der Apparat sich abhob. Linfield baute dann einen zweiten Apparat. Die Tragflächen waren



Fig. 136. Drachenfliegermodell von Langley.
Das Aerodrom Nr. 6 in der Luft. (Zeichnung.) Apparat Biplan: Zwei Tragflächen hintereinander angeordnet.

auf zwei Rahmen montiert von je 1·5 Meter im Quadrat. Jeder Rahmen bestand aus 25 übereinander gestellten Flächen aus gefirnißter Leinwand von 45 Zentimeter Breite. Die Distanz zweier Flächen war bloß 5 Zentimeter. Die gesamte Tragfläche betrug gegen 40 Quadratmeter. Der Apparat lief auf vier Rädern und wog 108 Kilogramm. Der Antrieb erfolgte durch eine 9 blätterige Schraube von 2·1 Meter Durchmesser. Da die makadamisierte Straße, auf welcher die Versuche hätten stattfinden sollen, nicht benützt werden konnte, ließ Linfield

Digitized by Google

den Apparat auf einen Wagen postieren, der auf einer Schienenbahn lief. Mittels eines Taues war der Drachenflieger an die Lokomotive gekoppelt. Bei einer Geschwindigkeit von 18 Meter pro Sekunde hob



Fig. 137. Drachenfliegermodell von Langley.
Der berühmte Flug des „Aerodroms" Nr. 5 vom 6. Mai 1896. (Nach einer Momentphotographie von Graham Bell.)

sich der Apparat vollständig vom Wagen ab. Der Zug im Halteseil betrug ein wenig unter 11 Kilogramm. Daraus folgt eine Nettoantriebsarbeit des Apparates zur Erreichung des Schwebezustandes von rund $2^1/_2$ Pferdekräften. Der Auftrieb pro Pferdekraft erreichte

Digitized by Google

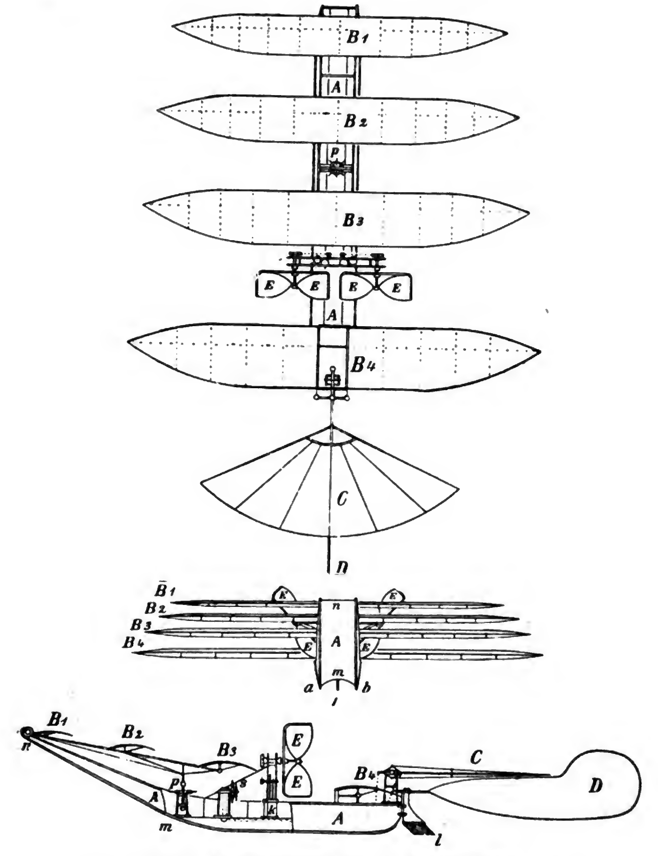


Fig. 138. Drachenfliegermodell von Wilhelm Kress.

A Draufsicht, *B* Stirnansicht, *C* Seitenansicht mit teilweisem Schnitt. Vier Tragflächen in absteigenden Stufen von vorn nach hinten (Tetradesklin). *A* Schlittenboot, auf dem der ganze Apparat aufmontiert ist; B_1 B_2 B_3 B_4 Tragflächen, *C* Horizontales Höhensteuer und Stabilisierungsfläche, *D* Vertikales Kurssteuer, *E*, *E* Propulsionsschrauben, *l* Wasser-(Schnee- und Eis-)steuer, *s* Steuerräder, *p* Stellrad, *k* Motor.

Digitized by Google

den nicht unerheblichen Betrag von rund 43 Kilogramm. Ohne Gewichtsvermehrung mit einem Motor versehen, der imstande gewesen wäre, einen Propellervortrieb von 11 Kilogramm zu erzeugen, wäre also der Apparat nach den angegebenen Zahlenwerten imstande gewesen, einen dauernden Flug auszuführen. Das Experiment von Linfield ist aus dem Grunde interessant, weil es den ersten Versuch einer Messung der zum Fliegen erforderlichen Arbeit darstellt.

Nach jahrelangen experimentellen Studien über die günstigste Flügelquerschnittsform ging Fhillips an den Bau eines großen Drachenfliegermodelles, mit dem er im Jahre 1893 eine Reihe von Versuchen mit gutem Erfolge anstellte. Fhillips hatte bei seinen Luftwiderstandsmessungen, über welche noch im folgenden eingehender berichtet



Fig. 139. Drachenflieger von W. Kress 1898—1901.
Ansicht schräg von vorn. Schlittenboot, Kiel und Versteifung der Tragflächen gut sichtbar.

wird, gefunden, daß den günstigen Effekt, d. i. den größten Auftrieb bei kleinstem Rücktrieb, schmale, auf der Unterseite konkave Flächenelemente geben. Er stellte deshalb seine Tragfläche aus 50 in einem Abstande von 51 Millimeter übereinander gestellten „Sustainers“ oder Einheiten zusammen. Jede von diesen hatte eine Länge von 6·8 Meter dabei bloß eine Breite von 28 Millimeter. Diese Teilflächen waren in einem rechteckigen Rahmen von 6·8 Meter Breite und 2·8 Meter Höhe eingesetzt. Die gesamte Tragfläche hatte ein Areal von 12·1 Quadratmeter. Die Antriebskraft lieferte eine zweiflügelige, vor dem Tragflächenrahmen angebrachte Schraube. Diese hatte einen Durchmesser von 1·8 Meter bei 2·4 Meter Steigung. Die abgewickelte Fläche betrug ein wenig unter 0·4 Quadratmeter. Als Motor diente eine Kompounddampfmaschine mit zwei Zylindern von 43 und 91 Millimeter

Digitized by Google

Bohrung und 150 Millimeter Hub. Der Dampfdruck war $12^1/_2$ Kilogramm pro Quadratzentimeter. Der Motor wog mit Wasser im Kessel und Feuerung 91 Kilogramm. Der Apparat war auf ein wagenartiges Gestell montiert, das auf drei Rädern lief. Die Tragflächen wogen mit dem Traggerüst 32 Kilogramm, der Wagen samt Rädern 27 Kilogramm. Es resultiert sonach ein Gesamtgewicht von rund 160 Kilogramm. Der zylindrische Kessel aus Phosphorbronze hatte 30 Zentimeter im Durchmesser bei einer Länge von 40 Zentimeter. Die Feuerungsfläche betrug 450 Quadratzentimeter. Als Brennmaterial diente Kohle. Die Maschine lief in einer Kreisbahn von 60 Meter Durchmesser und wurde durch einen Draht festgehalten. Beim ersten Versuche wurde ein Ballast von 33 Kilogramm aufgelegt, so daß die Gesamtlast 182 Kilogramm betrug. Bei voller Geschwindigkeit hoben



Fig. 140. Drachenflieger von Kress.

Ansicht schräg von hinten. Die beiden Propulsionsschrauben und Steuer gut sichtbar.

sich die Hinterräder klar von der Unterlage ab. Auf den Hinterrädern ruhte die ganze Last, das Vorderrad war auf einer langen Stange montiert und diente bloß als Führung. Es wurde sodann ein Ballast von 7 Kilogramm aufgelegt. Bei einer Geschwindigkeit von $12^1/_2$ Meter hob sich der Apparat vom Boden ab und durchflog eine Strecke von 50 bis 60 Meter. Der Stirnwiderstand bei voller Geschwindigkeit betrug nach dem Dynamometer 12·6 Kilogramm. Das gibt eine Nettoantriebsarbeit von 2·1 Pferdekräften. Der Motor soll über $5^1/_2$ Pferdekräfte geleistet haben. Der Auftrieb pro Pferdekraft war darnach 32 Kilogramm. Bezogen auf die Nettoarbeit, folgt indes der recht beträchtliche Auftrieb von nahe 80 Kilogramm. Die Versuche von Phillips haben, so außerordentlich interessant sie auch sind, doch eigentlich nur theoretisches Interesse, denn es erscheint ausgeschlossen, einen derartigen Apparat zum freien Fluge zu bringen wegen des völligen Mangels der Stabilität im lotrechten Sinne.

Digitized by Google

Aus dem gleichen Jahre stammt ein außerordentlich interessantes Experiment mit einem größeren Drachenfliegermodell von Tatin. Der Apparat bestand aus einer ebenen schwach gekielten Tragfläche von 0·6 Quadratmeter Areal. Die Form der Tragfläche war die eines langgestreckten Rechteckes mit halbkreisförmig abgerundeten Ecken. Die Langseite ist senkrecht zur Flugrichtung gestellt. Die Breite der Tragfläche beträgt 40 Zentimeter, die Spannweite 189 Zentimeter. Die Tragfläche war an einem Stahlrohr mit konischen Zuspitzungen montiert. Dieses bildete zugleich den Behälter für die komprimierte Luft zum Antrieb des Motors. Der Durchmesser des Rohres ist 12 Zentimeter, die Länge 85 Zentimeter. Es faßte nahezu 8 Liter Luft, war auf 20 Atmosphären geprüft und wog bloß 700 Gramm. Als Motor diente eine kleine



Fig. 141. Drachenflieger von Kress, 1901.
Der nach dem Unfalle vom 3. Oktober 1901 gehobene Apparat.

Maschine mit oszillierendem Zylinder. Der Motor trieb zwei vierflügelige, an der Vorderseite der Tragfläche nebeneinander angebrachte Schrauben an; diese hatten einen Durchmesser von 0·4 Meter und drehten sich nach entgegengesetzten Richtungen. Die Schraubenflügel waren aus dünnem gebogenen Horn hergestellt mit einer Steigung von rund 59 Zentimeter. Die Tourenzahl erreichte 25 in der Sekunde. An der Rückseite der Tragfläche war ein dreieckiger Schweif von 0·6 Meter Länge angebracht, der als Horizontalsteuer diente und infolge seiner schwachen Aufdrehung auch als Pénaud-Steuer wirkte. Der ganze Apparat war auf drei Räder montiert und wog komplett 1750 Gramm. Er wurde auf einer Kreisbahn von 15 Meter Durchmesser erprobt. Bei einer Geschwindigkeit von 8 Meter pro Sekunde hob sich der Apparat vom Boden ab und flog etwa 15 Meter weit, bis der Vorrat an komprimierter Luft erschöpft war. Bei einem Versuche flog der

Digitized by Google

Apparat über die Köpfe der Zuschauer hinweg. Zum Betriebe erforderte der Motor eine Gasspannung von 7 Atmosphären; seine Leistung betrug 10 Meterkilogramm pro Sekunde. Die effektive Arbeit war aber bloß 25—30 Prozent, d. i. etwa 2·6 Meterkilogramm pro Sekunde bei einem Schiefstellungswinkel der Tragfläche von 7—8 Grad. Die erforderliche Antriebsarbeit wurde von Tatin sehr genau mittels eingeschalteter Dynamometer gemessen. Die Versuche mit dem beschriebenen Modell verdienen deshalb ein ganz besonderes Interesse.

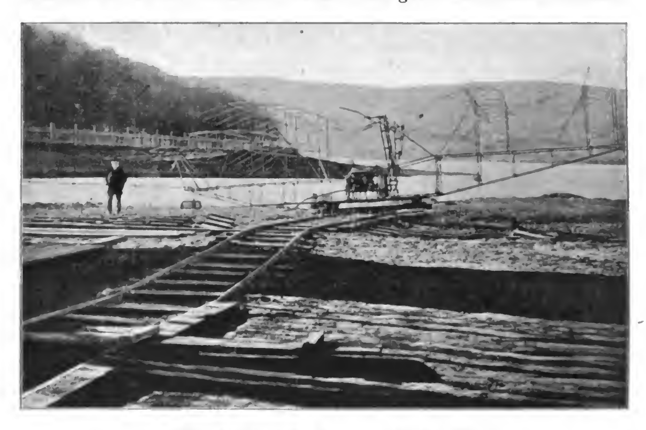


Fig. 142. Drachenflieger von Kress, 1902.
Modell Nr. 2. Rumpf- und Tragflächengerüste, hergestellt aus Stahlrohren.

In Wien demonstrierte Kress im Jahre 1880 ein kleines freifliegendes Modell eines Drachenfliegers. Dieses hatte vorne eine Tragfläche, die in einem Winkel von etwa 3 Grad im Verhältnis zu den horizontalen Achsen der Luftschrauben geneigt war; rückwärts war ein Pénaud-Steuer angebracht. Der Schwerpunkt war wie bei dem Planophore Pénauds so weit nach vorne verlegt, daß der Apparat im Verhältnis zum Druckmittelpunkte der Tragflächen ein entsprechendes Übergewicht nach vorn hatte. Hinter der Tragfläche waren zwei nebeneinanderliegende Pénaudsche Fahnenschrauben von Kress, elastische Segelluftschrauben genannt, angebracht. Diese sind dadurch charakterisiert, daß nur die äußere Umrandung aus festem Gerüste besteht, die Flügelfläche aber aus losem Stoff ohne jede Versteifung. Zum Antrieb der Schrauben dienen wie bei Pénauds Modell gedrehte Gummischnüre. Kress „Aéroveloce“ war auf Schlittenkufen montiert und nahm von einem längeren Tisch aus seinen Anlauf. Es durchflog mit einer Geschwindigkeit von 3—4 Meter einen großen Saal.

Digitized by Google

Später baute Kress auch größere „Modelle“ mit 0·4 Quadratmeter Tragfläche und 0·6 Kilogramm Gewicht. Die Tragflächen waren stufenförmig von vorne nach rückwärts absteigend.

Besondere Bedeutung besitzen die Versuche von Goupil über den Auf- und Rücktrieb von großen Tragflächen im Winde. Er experimentierte im Jahre 1883 mit einer Tragfläche von 5·9 Meter Spannweite und 7·9 Meter Länge. Die Gesamtfläche betrug 26·8 Quadratmeter und wog 49·8 Kilogramm. Die Unterseite war nach oben gewölbt und unter einem Winkel von ungefähr 10 Grad schiefgestellt. Goupil wollte zunächst Studien über die Stabilität und über den Einfluß des Windes, sowie über den Betrag der erforderlichen Betriebskraft sammeln, ehe er an den Bau eines kompletten Drachenfliegers schritt.

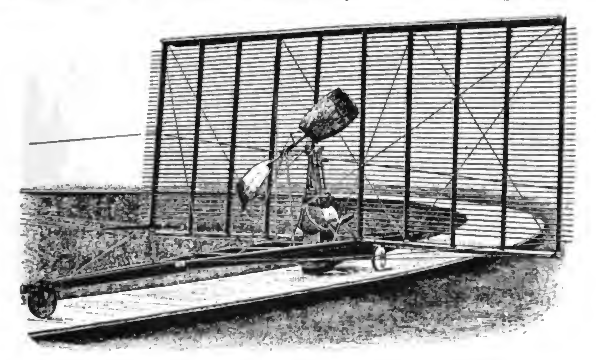


Fig. 143. Drachenfliegermodell von Phillips.
Tragflächen jalousieartig übereinandergestellt, angetrieben durch zweiflügelige Schraube. Apparat läuft mit drei Laufrädern in einer Kreisbahn.

In einem Winde von 5—6 Meter hob der Apparat zwei Mann vom Boden ab und zeigte einen Gesamtauftrieb von nahezu 200 Kilogramm; er wurde durch ein Seil fixiert, so daß er sich bloß auf 0·6 Meter Höhe abheben konnte. Der Zug war nicht größer als 8 Kilogramm. Wenn die Windstärke über $6^1/_2$ Meter in der Sekunde stieg, konnte der Apparat nicht länger beherrscht werden. Die Tragfläche verlor dann ihre Form und der Wind drückte gegen die deformierte Seite stärker. Bei einem Windstoß waren fünf Mann nötig, um den Apparat zu halten. Dabei brach einer der Flügel. Als Konstruktionsmaterial für den Rahmen diente weißes Tannenholz. Auf Grund seiner Studien mit Tragflächen stellte Goupil das Projekt eines Drachenfliegers auf, der gegen 450 Kilogramm wiegen sollte. Als Motor war eine Dampfmaschine von 15 Pferdekräften vorgesehen. Das Gewicht des Motors samt Kessel war mit rund 290 Kilogramm veranschlagt, der

Digitized by Google

Kondensator mit rund 100 Kilogramm und der Apparat allein mit 120 Kilogramm.

Goupil hat die Ergebnisse seiner Arbeiten in einem geschätzten Buche „La locomotion aerienne“ zusammengestellt. Wir werden auf seine Studien noch bei der Besprechung der Eigenschaften der gewölbten Tragflächen zurückkommen.

Über weitere, gleichfalls recht interessante Versuche mit Tragflächen berichtet Sandervai im „Aéronaute“ vom Jahre 1884. Er baute sich ein Paar von Flügelflächen von 11·8 Meter Spannweite und 3·9 Meter größter Breite. Die Flügel bestanden aus einem Rahmen von Weidenholz, über den Leinwand gespannt war. Die Versteifungs-

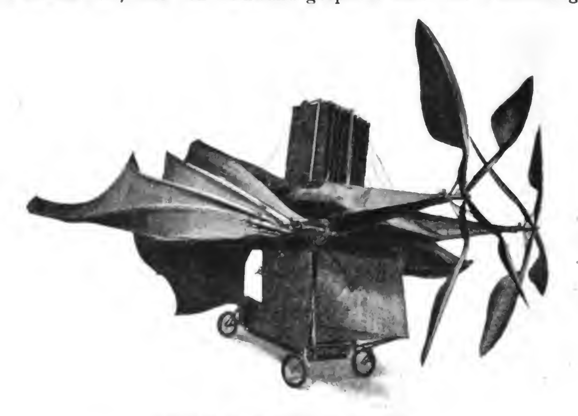


Fig. 144. Drachenflieger von Ader.

„Avion“ Nr. 3. Fledermausförmige Tragflächen angetrieben durch zwei frontale Zugschrauben. Der rechteckige Kasten in der Mitte ist der Dampfkondensator für den Dampfmotor, der zum Antriebe dient. Flügel zusammenfaltbar.

rippen waren biegsam. Bei der ersten Serie von Versuchen ließ man die Tragfläche suspendiert an einem nahezu 400 Meter langen Kabel mit schwachem Gefälle in ruhiger Luft niedergleiten. Dann ließ man den Apparat aus einer Höhe von 30 Meter frei fallen. Schließlich setzte man den Apparat belastet mit einem Mann dem Winde aus; er war dabei an einem langen Kabel suspendiert, das zwischen zwei Hügeln über einen Hohlweg gespannt war, später zwischen zwei Masten, die längs der Meeresküste errichtet waren. Der Führer war etwa 1·5 Meter unter der Tragfläche so fixiert, daß er vermittels vier Schnüren sein Körpergewicht nach vorn oder rückwärts und auch nach den Seiten verschieben konnte. In einem leichten Winde stieg der Apparat auf, bis das Tragseil eine horizontale Lage einnahm.

Digitized by Google

Wenn der Wind eine Geschwindigkeit von 8 Meter in der Sekunde erreichte, hob der Apparat noch zwei Assistenten, also im ganzen drei Personen hoch.

Ein außerordentlich fleißiger Experimentator ist der in Australien lebende Engländer Hargrave. Dieser hat seit dem Jahre 1885 mehr als 50 Modelle von kleinen Drachen- und Flügelfliegern gebaut und die meisten von ihnen auch zum freien Fluge gebracht. Die ersten Modelle wurden durch Uhrfedern getrieben, dann ging er über zu Gummischnüren in Spannung. Zur Vergleichung mit den Schrauben stellte er Modelle mit zwei Luftschrauben her, von denen die eine an der Stirn-, die andere an der Rückenseite des Apparates angebracht war. Er fand, daß in der von ihm erprobten Dimension Schrauben- und Flügelpropeller nahezu den gleichen Effekt ergaben. Flügelpropeller besitzen aber nach Hargrave doch einige Vorteile vor den Schraubenpropellern. Windwellen unterstützen den Aufschlag. Bei der Verwendung



Fig. 145. Drachenflieger von Ader.
Flügel ausgebreitet.

eines Dampfmotors genügt ein Zylinder zum Antrieb beider Flügel. Es ist keine Umsetzung der oszillierenden in eine rotierende Bewegung nötig. Hargrave baute von 1890 ab eine Reihe von Modellen, die zum Teil durch komprimierte Luft, zum Teil durch Dampf getrieben wurden. Ein Modell von 1·1 Kilogramm Gewicht flog 112 Meter weit. Es hatte eine Tragfläche von 1·4 Quadratmeter. Die zwei Flügel hatten ein Areal von 0·1 Quadratmeter. Die komprimierte Luft war in einem zylindrischen Rohr von 51 Millimeter Durchmesser und 120 Zentimeter Länge. Das Gewicht des Rohres betrug 550 Gramm, es faßte 2·3 Liter Luft, die auf 16 Atmosphären komprimiert war. Der Motorzylinder hatte einen Durchmesser von 37 Millimeter und eine Länge von 29 Millimeter. Die Kolbenstange war fest und es bewegte sich der Zylinder auf und ab. Das Areal der Tragfläche war 1·4 Quadratmeter. Der Apparat hatte kein Steuer. Der Schwerpunkt lag so, daß seine Distanz vom Vorderrand der Tragfläche 23 Prozent deren gesamten Länge betrug. Ein zweites Modell von 2·1 Kilogramm und einer Tragfläche von nahe 1 Quadratmeter flog 104 Meter weit. Ein durch eine 3 Zylinder-

Digitized by Google

maschine (nach der Brotherhood-Type gebaut) getriebenes Modell von 0·9 Kilogramm Gewicht und 1·9 Quadratmeter Tragfläche flog zirka 40 Meter weit in 8 Sekunden. Zur Propulsion dienten Luftschrauben.

Im selben Jahre (1891) baute Hargrave ein neues Modell (Nr. 16) mit Flügelpropellerantrieb. Dieses wog 2·1 Kilogramm, hatte eine Tragfläche von 2·3 Quadratmeter und flog 104 Meter weit in 23 Sekunden. Hargrave hat noch mit einer Reihe von Modellen experimentiert, auf deren detaillierte Beschreibung aus Raummangel nicht weiter eingegangen werden kann. Es muß diesbezüglich auf die dreizehn Abhandlungen von Hargrave verwiesen werden, die von 1884 bis 1893 in den Berichten der „Royal Society of New South Wales“ erschienen sind. Die Studien Hargraves sind sehr verdienstvoll, sie konnten aber auf die Entwicklung der Flugtechnik nur einen geringen Einfluß nehmen, da die Schriften, in denen sie publiziert wurden, nicht leicht zugänglich



Fig. 146 A. Drachenflieger von Santos-Dumont, 1906.
Ansicht des Apparates schräg von vorn. Zwei Tragflächen senkrecht übereinander mit lotrechten Scheidewänden. (Nach einer Originalphotographie.)

sind. In den aeronautischen Fachblättern erschienen meist nur ganz kurze Berichte. So kam es, daß der Name Hargraves erst durch die Erfindung seines Kastendrachens allgemein bekannt wurde.

Tatin, der schon 1879 ein ausgezeichnetes Drachenfliegermodell konstruiert hatte, setzte zehn Jahre später seine Studien fort und baute in Gemeinschaft mit Richet ein großes Drachenfliegermodell mit einer Tragfläche von zirka 8 Quadratmeter. Der Apparat bestand aus einem kielförmigen Rumpfgerüste aus Pappelholz, das gleich der Tragfläche mit Seide überspannt war. Durch Spanndrähte, die über Stege liefen, wurden die Tragflächen mit dem Rumpf versteift. Die Flügelspannweite war 6·6 Meter. Der Antrieb erfolgte durch einen Dampfmotor mit Kessel und Heizvorrichtung. Zur Propulsion dienten zwei gegenläufige Schrauben, von denen die eine an der Stirnseite, die andere an der Rückseite der Tragfläche angebracht war. Der Apparat war mit einem fixen Horizontalsteuer versehen und wog einschließlich Kohle und Speisewasser für eine 5 Kilometer lange Fahrt 33 Kilogramm.

Digitized by Google

Die Erprobung erfolgte durch Ablassen von einer schiefen Ebene, deren unteres Ende horizontal auslief. Die ersten Versuche wurden 1890 an der Meeresküste bei Sainte-Adresse ausgeführt. Der Apparat hielt sich 60 bis 80 Meter gut im Gleichgewichte, dann verfing sich ein Draht in einer Schraube, der Flieger kippte um und wurde an den Klippen zerschellt. Im Jahre 1896 wurde ein weiterer Versuch mit einem fast völlig neuen Apparate angestellt. Die Triebkraft wurde ohne Gewichtsvermehrung von 75 auf 100 Kilogrammeter pro Sekunde erhöht. Nach einem Fluge von zirka 70 Metern verlor der Apparat seine longitudinale Stabilität. Der Vorderteil hob sich immer mehr, die Geschwindigkeit nahm ständig ab, bis der Apparat ganz umkippte und ins Meer fiel. Das Modell wurde repariert und im folgenden Jahre neuerdings versucht. Die longitudinale Stabilität war aber noch immer nicht genügend. Nach einer Flugstrecke von zirka 140 Metern verlor der Apparat sein Gleichgewicht und fiel in einer Distanz von 114 Metern vom End-



Fig. 146 B. Drachenflieger von Santos-Dumont.

Apparat schräg von hinten gesehen. Stirnsteuer, bestehend aus zwei übereinanderliegenden Flächen mit seitlichen senkrechten Flächen zur Kurserhaltung gut sichtbar. Drachenflächen zur Erhaltung der seitlichen Balance ersichtlich in Form eines V gestellt. (Nach einer Originalphotographie.)

punkte der Lanzierungsvorrichtung nieder. Die Fluggeschwindigkeit betrug 18 Meter pro Sekunde.

Middleton demonstrierte 1890 vor der aeronautischen Gesellschaft in London das Modell eines größeren Drachenfliegers, das gegen 10 Kilogramm wog, mit Tragflächen von 4·2 Meter Spannweite, angetrieben durch eine Schraube von 1·2 Meter Durchmesser. Der Apparat vermochte sich aber von der Führungsschnur nicht abzuheben. Infolge des Bruches eines Gelenkes an der Propellerwelle mußte das Experiment abgebrochen werden.

Damit soll der zweite Abschnitt in der Entwicklungsgeschichte des Drachenfliegers abgeschlossen werden. Die bisher durchgeführten Versuche mit Modellen und großen Apparaten geben bereits einen sicheren Anhaltspunkt für die zum dauernden Flug eines Drachenfliegers erforderliche Arbeit und lassen auch erkennen, daß die Kraftfrage kein unübersteigliches Hindernis bildet für die Herstellung eines Drachenfliegers zum Tragen eines Menschen. Auch die Gleichgewichts-

Digitized by Google

frage, welche das zweite prinzipielle Problem bei der Herstellung eines flugfähigen Drachenfliegers bildet, ist durch die Erfindung des Pénaudsteuers gelöst.

Die neueren Versuche mit großen Drachenfliegern. Die dritte Stufe in der Entwicklung des Drachenfliegers wollen wir mit den Arbeiten Maxims abgrenzen und zwar aus dem Grunde, weil Maxim zum ersten Male den Beweis erbracht hat, daß es möglich ist, Lasten von mehreren tausenden von Kilogrammen Gewicht auf rein dynamischem Wege, d. i. ohne Zuhilfenahme des Auftriebes eines Ballons vom Boden abzuheben. Wegen der großen Bedeutung, welche namentlich die Arbeiten von Maxim und Langley auf die Entwicklung der neueren Flugtechnik genommen haben, sollen die Ergebnisse derselben ausführlicher mitgeteilt werden, um so mehr, als es sich hier um Ergebnisse von bleibendem Werte handelt.

Der Drachenflieger von Maxim. Hiram L. Maxim, dem berühmten Erfinder der Schnellfeuerkanone, ist es gelungen, schon zu einer Zeit, wo man noch in weiten Kreisen an die Möglichkeit des



Fig. 146 C. Drachenflieger von Santos-Dumont.
Apparat im Fluge. Versuch vom 12. November 1906. (Nach einer Originalphotographie.)

ballonfreien Menschenfluges kaum glauben wollte, den Beweis zu erbringen, daß selbst Lasten von vielen Tausenden Kilogrammen auf rein dynamischem Wege in die Luft gehoben werden können. Maxim hat einen Riesen-Drachenflieger gebaut, der, komplett ausgerüstet mit drei Mann Besatzung, über 3600 Kilogramm wog und sich durch die Eigenkraft der mitgeführten Dampfmaschinen von seiner Unterlage abhob. Mit seinen großangelegten Versuchen hat Maxim schon im Jahre 1893 den unwiderleglichen Beweis der technischen Möglichkeit des ballonfreien Fluges erbracht.

Die Forschungen Maxims auf dem Gebiete der Aerodynamik und der Flugtechnik sind so bedeutungsvoll, daß deren eingehende Besprechung gerechtfertigt erscheint. Bevor Maxim an den Entwurf seines großen Drachenfliegers ging, stellte er zunächst zahlreiche Versuche über den Luftwiderstand von Flächen und Flächenkombinationen an. Er verwendete dazu einen großen Rundlaufapparat von $19^1/_2$ Meter Durchmesser und auch einen Ventilator. Die Luftwiderstandsversuche im künstlichen Luftstrom wurden in der Weise angestellt, daß mittels eines durch eine 60pferdige Dampfmaschine angetriebenen Ventilators

Digitized by Google

ein Luftstrom durch ein horizontales, quadratisches Rohr getrieben wurde. Man erhielt so einen Luftstrom von 0·3 Quadratmeter Querschnitt. Die Geschwindigkeit konnte von 8 bis 145 Kilometer variiert werden. Durch Wagevorrichtungen konnte der Auf- und Rücktrieb der verschiedensten Versuchskörper gemessen werden. Es wurden die relativen Widerstände aller möglichen Querschnittsformen gemessen. Es ergab sich, daß die Übereinanderstellung der Tragflächen den Auftrieb pro Flächeneinheit stark herabmindert. Die günstigsten Resultate ergaben etagen- oder treppenförmige Anordnungen. Wenn eine Tragfläche einen guten Effekt geben soll, muß sie völlig steif sein und



Fig. 147. Drachenflieger der Brüder Voisin, gesteuert von Farman.
Apparat im Fluge, von vorn. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris).

darf durch den Druck der Luft nicht deformiert werden. Schmale Flächen tragen per Flächeneinheit mehr als breite. Da aber jede Fläche, wie schmal sie auch sein mag, doch eine bestimmte Dicke haben muß, ist es nicht vorteilhaft, die Tragflächen zu nahe aneinander zu stellen. Werden z. B. Drachenflächen von 6 Millimeter Dicke in Distanzen von 72 Millimeter übereinander gestellt, so wird $^1/_{12}$ des Raumes von den Tragflächen selbst eingenommen und $^{11}/_{12}$ sind freier Luftraum. Wenn eine Gruppe von solchen Drachenflächen mit einer Geschwindigkeit von 36 Meilen in der Stunde bewegt wird, muß ersichtlich die Luft den Zwischenraum zwischen den Tragflächen mit einer Beschleunigung von 3 Meilen oder mit einer Geschwindigkeit von 39 Meilen durchströmen, wenn keine Stauung des Luftstromes eintreten soll. Die Unterschiede im Drucke sind in der Tat so gering, daß praktisch keine atmosphärische Kompression eintritt. Die erforderliche Beschleunigung der Luftmassen zwischen den Tragflächen konsumiert erfahrungsgemäß einen großen Teil an Kraft; dieser Verlust

Digitized by Google

ist so erheblich, daß die zu nahe Aneinanderstellung schmaler Flächen einen ausgesprochenen Nachteil mit sich bringt. Wenn man einen möglichst großen Auftrieb pro Flächeneinheit erzielen will, können die Flächen an der Unterseite beträchtlich gewölbt sein. Wenn man aber einen möglichst geringen Rücktrieb erhalten will, ist es zweckmäßig, die Flächen stufenförmig anzuordnen, u. zw. so, daß die Stufen in der Bewegungsrichtung abfallen, die vorderste Fläche also am tiefsten liegt, die hinterste am höchsten. Es kann dadurch erreicht werden, daß die Summe von allen Zwischenräumen zwischen den Flächen gleich dem ganzen Areal wird, das von den Drachenflächen eingenommen wird. Eine Beschleunigung des Luftstromes, beziehungsweise eine Kompression der Luft in den Zwischenräumen der Drachenflächen braucht deshalb nicht zu erfolgen und der Kraftverlust entfällt. Bei dieser Anordnung kann ein großer Auftrieb pro Flächeneinheit erzielt werden ohne Vermehrung des Schraubenzuges. Auch mit den verschiedensten Typen von Luftschrauben experimentierte Maxim, um die beste Schraubenform zu finden. Zuerst mit kleinen Modellen, aus Holz geschnitzt, und dann auch mit ungewöhnlich großen Schrauben. Die Holzmodelle hatten einen Durchmesser von 45 Zentimeter und wurden aus amerikanischem Fichtenholz mit großer Sorgfalt geschnitzt, mit sehr hartem Leim bestrichen, getrocknet und mit Schellack lackiert. Der Schraubenzug wurde für die einzelnen Typen mittels eines automatisch schreibenden Dynamometers am Rundlaufapparat bestimmt. Schrauben aus Stoff, der über einen Rahmen gespannt war, gaben nur die Hälfte des Vortriebs wie starre Schrauben bei gleichem Energieaufwand. Wenn aber die Stirnseite recht glatt und die Rückseite gut abgerundet ist, kann der Effekt von Stoffschrauben ebensogut werden wie von Schrauben mit dünnen Blechflügeln. Maxim fand bei seinen Versuchen auch das beachtenswerte Ergebnis, daß durch die Vorwärtsbewegung einer Schraube an sich noch keine Erhöhung des Vortriebes bewirkt wird, wenn die Tourenzahl dieselbe bleibt. Wenn z. B. eine fixierte Schraube 2000 Touren macht und dabei einen Vortrieb von 9 Kilogramm gibt, so bleibt der Schraubenzug bei ungeänderter Tourenzahl derselbe, auch wenn man der Schraube eine Tourenzahl von 80—96 Kilometer pro Stunde erteilt. Mit zunehmender Geschwindigkeit nimmt der Schrauben-Slip ab: der Verlust an Vortrieb durch Verminderung des Slips scheint aber genau kompensiert zu werden durch den Vorteil, daß die Schraube immer in frischer Luft läuft, deren Trägheit noch nicht gestört ist. Bei Wasserschrauben ist die Oberflächenreibung so groß, daß es vorteilhaft ist, die Enden schmäler zu machen.



Fig. 148 A. Drachenflieger von Gastambide-Mangin.
Im freien Fluge. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris).

Digitized by Google

Bei Luftschrauben ist dies nicht der Fall. Maxim machte deshalb seine großen Schrauben an den Enden breiter als an der Nabe. Man meinte früher, daß durch die Schrauben die Luft im Zentrum angesaugt und an der Peripherie ausgeworfen werde, was einen erheblichen Energieverbrauch bedingen würde. Maxim fand durch seine Versuche, daß eine derartige Ventilatorwirkung nicht eintritt, wenn die Steigung der Schraube nicht größer als dreimal so groß ist als der Schraubendurchmesser. Eine gut gebaute Schraube nimmt die Luft in der Peripherie auf und wirft sie fast in einer graden Linie in der Richtung der Achse aus. Die erste von Maxim gebaute große Schraube hatte zwei Blätter und einen Durchmesser von 5·4 Meter. Die Steigung betrug 7·3 Meter. Es zeigte sich, daß diese Steigung



Fig. 148 B. Drachenflieger von Gastambide-Mangin.

Hergestellt in der Werkstätte von Levavasseur. Apparat von rückwärts gesehen. Die rückwärtigen dreieckförmigen Anhängsel an der Tragfläche dienen zur Erhaltung der seitlichen Stabilität. An der Rückseite des Apparates zwei rechtwinkelig aufeinanderstehende trapezförmige Flächen zur Stabilisierung und Dämpfung der Schwingungen um die Längs- und Querachse. Die kleinen dreieckigen Anhängsel oben unten an der senkrechten Stabilisierungsfläche dienen als Kurssteuer. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris.)

zu groß war. Es wurde deshalb ein anderes Paar vom gleichen Durchmesser hergestellt mit einer Steigung von nur 4·8 Meter. Diese gab einen außerordentlich guten Wirkungsgrad. Ein weiteres Schraubenpaar von 4·2 Meter Durchmesser und 5·4 Meter Steigung gab wieder schlechtere Resultate.

Auch die technologische Seite der Frage wurde von Maxim eingehend studiert, ehe er an den Bau seiner großen Maschine herantrat. Man erhoffte sich zu jener Zeit große Vorteile von der Verwendung des Aluminiums als Baumaterial für Flugmaschinen. Maxim stellte durch sorgfältige Prüfungen fest, daß, bezogen auf gleiches Gewicht, das Aluminium hinter dem Stahl an Festigkeit erheblich zurückstehe. Ferner erwies sich als ein großer Mangel, daß die Aluminiumrohre bloß durch Vernietung sich vereinigen lassen, wodurch

Digitized by Google

der Festigkeitskoeffizient auf mehr als die Hälfte herabgedrückt wurde, während Stahlrohre sich durch Hartlötung derart vereinigen ließen, daß der Festigkeitskoeffizient der Verbindungsstücke bloß um etwa 2 Prozent kleiner wird als jener der ungelöteten Rohre. Aus diesen Gründen und auch wegen des wesentlich geringeren Preises der Stahlrohre verwendete Maxim für die Herstellung des Gestelles und für alle Versteifungen seines großen Drachenfliegers ausschließlich Rohre aus Stahl. Die Wandstärke betrug 1 Millimeter, der Durchmesser schwankte von 6 bis zu 76 Millimeter.

Auch über den zweckmäßigsten Bespannungsstoff stellte Maxim eingehende Studien an. Er prüfte alle als Bespannungsmaterial in Betracht kommenden Stoffe. Er spannte sie unter einem Winkel von 6 Grad in einen Rahmen ein, ließ vermittels eines Ventilators einen kräftigen Luftstrom gegen die geneigte Fläche blasen und maß deren Auf- und Rücktrieb. Dieser wurde verglichen mit den für eine dünne Tafel aus Zinn erhaltenen Werten. Für die Zinntafel ergab sich das Verhältnis des Rücktriebes zum Auftriebe wie 1 : 10, dieser Wert wurde als Maßeinheit genommen. Maxim untersuchte so eine große Reihe von Stoffen: Samt, Plüsch, Wollwaren, alle Sorten von Seiden- und Baumwollstoffen. Einige von den Seidenstoffen waren sehr dicht gewebt; sie gaben indes keinen so großen Auftrieb wie die Zinnplatte und zeigten einen größeren Rücktrieb. Bei einem Stück Krepp war der Rücktrieb mehrmals größer als der Auftrieb. Ein Stück aus Leinenschirting gab einen Auftrieb, der neunmal so groß war als der Rücktrieb. Maxim wählte schließlich den Ballonstoff von Spencer aus. Dieser stellt ein außerordentlich dichtes Gewebe dar und gibt einen Auftrieb, der zehnmal so groß ist wie der Rücktrieb, erweist sich also als ebensogut wie eine Tafel aus Zinn.

Die maximale Beanspruchung des Stoffes beträgt weniger als 50 Gramm pro Quadratdezimeter; geprüft wurde der Bespannungsstoff auf die 25fache Sicherheit, also für eine Belastung von 5 Kilogramm pro Quadratdezimeter.

Erst nachdem alle diese Vorfragen gelöst waren, schritt Maxim an die Kalkulation seines Apparates. Er ging dabei von folgenden Erwägungen aus: Eine praktisch brauchbare Flugmaschine muß imstande sein, das Gewicht von wenigstens einem Menschen als Nutzlast zu tragen. Je größer die Dimensionen des Apparates genommen werden, ein um so kleinerer Faktor wird das Gewicht eines Menschen. Weiters kann eine Maschine von etwa 200—400 Pferdekräften mit einem geringeren Einheitsgewichte hergestellt werden als ein sehr kleiner Motor von etwa bloß ein bis zwei Pferdekräften Leistung. Andererseits ist es aber auch nicht ratsam, einen Apparat in zu großem Maßstab zu bauen, da die relative Festigkeit mit der Vergrößerung der Dimensionen abnimmt. Beim ersten Entwurf rechnete Maxim auf ein Apparatgewicht von etwa 5000 Pfund (2265 Kilogramm), einen Schraubenzug von 1500 Pfund (679 Kilogramm) und eine gesamte Tragfläche von 5000 Quadratfuß (464 Quadratmeter). Er erwartete, daß der Apparat sich bei einer Geschwindigkeit von 35 Meilen (47 Kilometer) abheben werde mit einem Arbeitsaufwand von 250 Pferdekräften. Nach Vollendung des Apparates ergab sich, daß

Digitized by Google

viele Teile zu schwach konstruiert waren und durch stärkeres und festeres Material ersetzt werden mußten. Dadurch wuchs das Gewicht des Apparates um etwa 2000 Pfund (906 Kilogramm). Beim Versuche zeigte sich, daß die Motore 360 Pferdekräfte zu leisten vermochten und daß ein Schraubenzug von über 2000 Pfund (960 Kilogramm) leicht erreicht werden konnte. Es ergab sich aber auch, daß die erforderliche Antriebsarbeit, um den Apparat mit der Schwebegeschwindigkeit vorwärts zu treiben, erheblich größer war, als in Anschlag gebracht worden war. Als motorische Kraft hatte Maxim schon bei der Aufstellung seines ersten Entwurfes einen Dampfmotor im Auge gehabt. Auf Grund eingehender Detailstudien war Maxim zur Überzeugung gelangt, daß eine Dampfmaschine mit dem



Fig. 148 C. Drachenflieger von Gastambide-Mangin.
Ansicht des Tragflächengerüstes. Zur Demonstration der Festigkeit mit zwei Männern belastet. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris).

geringsten relativen Motorgewicht hergestellt werden könne. Er fand nämlich folgende Werte für die Gewichte verschiedener Motore pro Pferdekraft: Heißluftmaschine 90 Kilogramm, Braytons Ölmotor 34 Kilogramm, Elektromotor mit Akkumulator 58, Ottos Gasmaschine 22, Dampfmotor mit Kessel, Kondensator und allem Zubehör 11—22 Kilogramm. Nach obiger Gewichtstabelle konnten bloß der Gasmotor nach dem System Otto oder die Dampfmaschine in Betracht kommen. Da ihm der Gasmotor nicht genug zuverlässig schien, entschied sich Maxim für die Anwendung einer Dampfmaschine. Es darf eben nicht außer acht gelassen werden, daß der Gasmotor vor fünfzehn Jahren noch nicht jenen hohen Grad der Vollkommenheit und Betriebssicherheit erreicht hatte, wie der moderne Benzinmotor sie aufweist. Als später die Technik des Explosionsmotors einen großen Aufschwung nahm, beabsichtigte Maxim bei einem Neubau seines Drachenfliegers auch einen Gasmotor in Anwendung zu bringen. Vorerst wollte er sich jedoch nicht auf ein langwieriges und kostspieliges Experimentieren mit dem in den neunziger Jahren noch

Digitized by Google

wenig entwickelten Gasmotor einlassen. Der Maximsche Dampfmotor ist ein solches Meisterwerk der Maschinentechnik, daß es nicht uninteressant sein dürfte, einige Details über dessen Bau zu erfahren. Maxims Motor war als sogenannte Kompoundmaschine ausgebildet; er bestand aus zwei Zylindern von verschiedenen Durchmessern, die miteinander in Verbindung standen und von denen der größere mit dem Abdampf des kleineren gespeist wurde. Der Hochdruckzylinder hatte eine Bohrung von $12^1/_2$ Zentimeter, der Niederdruckzylinder eine solche von 20 Zentimeter. Beide Zylinder waren doppelt wirkend und hatten einen gemeinsamen Hub von $30^1/_2$ Zentimetern. Die meisten Teile des Motors waren hohl gearbeitet und aus bestem Stahl hergestellt. Es wurden zwei ganz gleich konstruierte Maschinen gebaut, von denen jede komplett 145 Kilogramm wog. Bei einer Tourenzahl von 300—400 in der Minute und einem Dampfdruck von 19—22 Kilogramm pro Quadratzentimeter leistete jede Maschine maximal 180 Pferdekräfte. Die maximale Kolbengeschwindigkeit überschritt nicht 4 Meter pro Sekunde. Die Kolbengeschwindigkeiten von Schnellzugslokomotiven sind oft größer als 5 Meter pro Sekunde.

Der Speisedampf für die Motore wurde von einem mit großer Sorgfalt konstruierten Kessel geliefert. Dieser war nach dem System Tornycroft gebaut. Er bestand aus zwei Systemen von Kupferrohren von 10 Millimeter Durchmesser und $^1/_2$ Millimeter Wandstärke. Gegen dreihundet Rohre dienten zur Vorwärmung des Speisewassers. Sie waren längs den Seitenflächen eines spitzen Keiles, knapp nebeneinander, angeordnet. Das vorgewärmte Wasser gelangte dann in die eigentlichen Verdampfungsrohre, die mehrfach gewunden unmittelbar über dem Gasbrenner lagen. Es waren im ganzen gegen 700 Verdampfungsrohre von 1·4 bis 2·4 Meter Länge vorhanden. Die Verdampfungsrohre mündeten in den horizontal liegenden zylindrischen Dampfbehälter von 25 Zentimeter Durchmesser und 2·4 Meter Länge. Etwa 20 Prozent des durch die Verdampfungsrohre strömenden Wassers wurden in Dampf verwandelt. Das im Dampfbehälter sich abscheidende Wasser wurde durch einen Injektor wieder durch die Verdampfungsrohre getrieben. Die äußeren Abmessungen des Kessels sind: Länge 2·4, Breite 1·5, Höhe 1·8 Meter. Die Außenseiten waren mit Asbest verkleidet.

Zur Heizung des Kessels wurde Benzingas verwendet. Das Benzin wurde in einem kesselförmigen Generator erzeugt und nach Mischung mit Luft einem Gasbrenner zugeführt mit 7650 Flammen. Zum Einblasen der Luft diente ein durch überhitzten Dampf betätigter Injektor. Die Zufuhr von Luft und Speiseflüssigkeit wurde automatisch geregelt. Solange der Druck im Generator unterhalb eines gewissen Wertes blieb, wurde ein Teil des erzeugten Gases mittels eines Bunsenbrenners zur forcierten Heizung verwendet. Wenn der Druck einen bestimmten Maximalwert überstieg, wurde durch ein Drosselventil der Gaszufluß abgesperrt. Die Verdampfung der Brennflüssigkeit wird automatisch reguliert durch das Gewicht des Generators. Wenn dieses eine gewisse Grenze überschreitet, wird eine Sperrklinke, betätigt, wodurch der Hub der Speisepumpe verkleinert wird. Wenn der Generator

Digitized by Google

zu leicht wird, wird er durch eine Feder gehoben und der Pumpenhub dadurch vergrößert. Die Quantität Benzin im Kessel wird dadurch konstant erhalten. Die Brennflammen werden nicht nur durch den Kesseldruck, sondern auch durch einen Thermostaten reguliert. Der Naphthaverbrauch pro 1 Pferdekraftstunde betrug etwas über 0·4 Kilogr.

Das komplette Motorgewicht einschließlich Gasgenerator, Pumpe, 90 Kilogramm Wasser im Kessel, im Tank und Kondensator, aber ohne Brennmaterial betrug 924 Kilogramm. Es folgt daraus ein Motorgewicht pro 1 Pferdekraft geleisteter Arbeit von 3·6 Kilogramm.

Da der Dampfverbrauch pro Stunde bei voller Belastung der beiden Motore rund 900 Kilogramm beträgt, wäre eine längere Be-

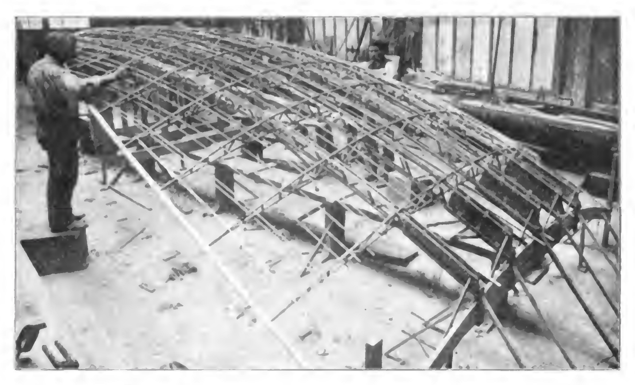


Fig. 148 D. Drachenflieger von Gastambide-Mangin.

Tragflächengerüst, aus Eschen-Holzstäbchen hergestellt mittels Leimen und Nageln. Tragfläche als parabolischer Flächenkörper ausgebildet, der oben und unten mit gefirnißter Leinwand überspannt wird. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris.)

triebsdauer nicht möglich gewesen. Maxim gab sich deshalb große Mühe, einen möglichst wirksamen Kondensator zu konstruieren. Es gelang ihm dies durch Anwendung eines Oberflächenkondensators, der aus etwa 500 kupfernen Rohren von 1·2 Meter Länge bestand. Diese Rohre hatten einen elliptischen Querschnitt und einen größten Durchmesser von 37 Millimeter. Sie wurden knapp nebeneinandergestellt und bildeten den Vorderrand der Haupttragfläche des Apparates. Durch Rohre, die zugleich einen Teil des Versteifungsgerüstes des Apparates bildeten, wurde der Abdampf aus dem Niederdruckzylinder zu dem Kondensator geleitet, das kondensierte Wasser sammelte sich in einem Behälter auf der Plattform des Apparates und wurde von diesem wieder in den Kessel gepumpt. Außer der großen Wirkung eines derartigen Flächenkondensators hatte diese Anordnung auch

Digitized by Google

noch den Vorteil, daß die Oberfläche des Kondensators nicht als reine Widerstandsfläche in Betracht kam, indem die Kondensatorfläche zufolge ihrer schwachen Neigung gegen die Horizontale einen Auftrieb ergab, der ihr Gewicht erheblich überstieg.

Für noch wirksamer hielt Maxim die Anbringung des Kondensators unmittelbar hinter den Propellerschrauben, weil dann nicht nur die Translationsgeschwindigkeit des Apparates, sondern auch der Schraubenslip für den Kühleffekt in Betracht komme. Es sei noch kurz bemerkt, daß die Idee die Tragflächen zum Teil als Oberflächenkondensator zu verwenden, schon in dem 1860 patentierten Drachenfliegerprojekt von Smithies in Vorschlag gebracht wurde. Im Jahre 1867 ließen sich Butler und Edward einen Drachenflieger mit pfeilförmiger Tragfläche patentieren, bei dem ebenfalls die Drachenflächen als Oberflächenkondensator verwendet werden sollten.

Maxim hat, wie schon erwähnt, eine große Reihe von Luftschrauben erprobt. Er wählte für den Antrieb seines Drachenfliegers als beste eine Schraubentype mit folgender Charakteristik aus: Durchmesser 5·4 Meter, Steigung 4·9 Meter, Breite der Blätter an der Spitze 1·5 Meter, abgewickelte Fläche der zwei Schraubenblätter 46·4 Quadratmeter, Gewicht 61 Kilogramm. Die Schraubenwelle bestand aus einem Stahlrohr von 12·7 Zentimeter Durchmesser und 3·2 Millimeter Wandstärke; ihre Länge war 1·5 Meter. Die Enden der Schraubenblätter waren durch Spanndrähte mit der Welle versteift. Die Kraftübertragung von der Motor- zur Propellerwelle erfolgte durch Kettenantrieb. Eine derartige Schraube war imstande, bis zu 180 Pferdekräfte zu übertragen. Die Tourenzahl betrug 375—400 in der Minute. Der registrierte maximale Schraubenzug war 950 Kilogramm. Die Flächenbelastung der Schrauben betrug demnach im Maximum $20^1/_2$ Kilogramm pro Quadratmeter.

Die Bespannung des Tragflächengerüstes wurde zunächst in der Weise vorgenommen, daß man den Stoff über die Unterseite des Rahmens so straff als möglich spannte. Es zeigte sich, daß die Versteifungen auf der Oberseite der Tragflächen einen erheblichen Widerstand leisten. Der erzielte Auftrieb war nicht größer als der Schraubenzug. Es wurde dann auch die Oberseite mit Stoff überzogen. Die Ränder der Tragfläche waren aber nicht scharf und die Oberseite bildete keine glatte Fläche. Es trat aber immerhin eine wesentliche Verbesserung des Auftriebes bei gleichem Schraubenzug ein. Bei einem Versuche hoben sich die Vorderräder des Apparates von der Schienenbahn ab und der Apparat wurde beschädigt. Die Tragflächenkonstruktion wurde nun vollständig umgeändert. Der Vorder- und Hinterrand lief nun sehr scharf aus. Der Stoff wurde zu diesem Zwecke über einen dünnen, aber starken gespannten Draht genäht. Die Bespannung wurde in folgender Weise vorgenommen. Der Stoff wurde zunächst in der beiläufig richtigen Größe zugeschnitten und eingesäumt. Dann wurde um den Rand ein mit Schnürlöchern versehenes Zwirnband angenäht und der Stoff sehr stramm über einen Rahmen gespannt. Man besprengte ihn nun wiederholt mit Wasser und ließ ihn wieder trocknen. Wo sich ein Schlaffwerden zeigte, wurde der Stoff wieder nachgespannt. Wenn jede Tendenz zur Dehnung geschwunden war, wurde

Digitized by Google

der Stoff auf die richtige Größe zugeschnitten und um den Rand mit einem Seidenband versehen zur Befestigung am Rahmen des Apparates. Er wurde sodann gespannt und mit gekochtem Öl gefirnißt. Nach Trocknung des Anstriches wurde der Stoff nachgespannt. Man erhielt auf diese Weise eine Bespannung, die weder durch Hitze noch Kälte beeinflußt wurde und stramm blieb wie ein Trommelfell. Es zeigte sich, daß jede Bauschung oder Verziehung der Unterseite der Tragfläche eine erhebliche Vergrößerung der Antriebskraft bedingt und es schien unmöglich, eine Rahmenkonstruktion zu finden, die ohne zu großes Gewicht die Unterseite der Tragfläche völlig eben gespannt erhalten könnte. Nach zahlreichen Versuchen gelang es Maxim, in der schon zum Teil beschriebenen Anordnung eine Abhilfe dieses Übelstandes zu finden. Die Unterseite der Tragflächen wurde durch den einmaligen Firnisanstrich nicht ganz luftdicht. Die obere Bespannung des Rahmens wurde durch mehrmaligen Firnisanstrich vollkommen luftdicht gemacht. Die Unterseite war stramm gespannt, sie wurde bloß an dem Rahmen befestigt und an zwei Leinen, die durch das Zentrum gingen, während die Oberseite über das Rahmenwerk weniger stramm gespannt wurde und nicht bloß an den Seiten, sondern auch in parallelen Linien, die 0·6 Meter voneinander abstanden. Auch das Stirn- und Rückensteuer wurden in gleicher Weise überspannt. Bei der raschen Vorwärtsbewegung dringt ein Teil der Luft durch die Unterseite und erzeugt einen Druckunterschied zwischen der Ober- und der Unterseite der Bespannung. Die Oberseite trägt die Last und bauscht sich nach oben zwischen den Versteifungen. Dies bewirkt eine Reibungsvermehrung in longitudinaler Richtung, was aber keinen merklichen Widerstand in der Luft bedingt, während die Unterseite, da sie praktisch denselben Druck an beiden Seiten erleidet, nicht im geringsten alteriert wird. Eine derartige Drachenfläche zeigt sich nach Maxim nahe ebenso wirkungsvoll, wie wenn sie aus einem soliden Holzstück ausgeschnitten wäre.



Fig. 149. Drachenflieger von Esnault-Pelterie. Apparat von vorne. Räder an den Enden der Tragfläche zur Vermeidung von Flügelbrüchen beim seitlichen Auftreffen der Flügel am Boden. (Nach einer Originalphotographie von M. Esnault-Pelterie.)

Bei den ersten Versuchen war die Schrägstellung der Haupttragfläche 1 : 14, d. i. unter einem Winkel von 4° 10′. Bei einer gut konstruierten und sehr glatten Drachenfläche, die unter diesem Winkel eingestellt ist, kann man nach Maxim auf einen Auftrieb über 13 Kilogramm für jedes Kilogramm Schraubenzug rechnen. Wegen der kurzen Anlaufbahn wurde die Schrägstellung auf 1 : 8 erhöht, um einen größeren Auftrieb bei relativ geringer Geschwindigkeit zu erzielen. Der Neigungswinkel der Drachenfläche zur Horizontalen beträgt demnach

Digitized by Google

7° 10′. Die Haupttragfläche von sechseckförmiger Form hatte eine Breite von 15 Meter, eine Länge (in der Flugrichtung) von 13·7 Meter und einen Flächeninhalt von 269 Quadratmeter. Bei einer Geschwindigkeit von 58 Kilometern hebt diese Haupttragfläche $^5/_8$ bis zu $^3/_4$ des Gesamtgewichtes der Maschine. Über der Haupttragfläche war in der Form eines langgestreckten Rechteckes eine kleinere Fläche von $12^1/_2$ Quadratmeter Inhalt angebracht. Außerdem waren zu beiden Seiten der Tragfläche fünf Flächenpaare angesetzt. Je vier davon waren parallel zueinander und senkrecht übereinander gestellt in Abständen von etwa 2 Meter. Die Dimensionen dieser seitlichen Flächen, die Maxim wings nennt, waren: Breite (in der Flugrichtung) 1·2 Meter, Länge 7·3—10·6 Meter. Das fünfte Paar der Seitenflächen war so gestellt, daß der Außenrand höher lag als der Innenrand. Verlängert bis zum Schnittpunkt der Ebenen bildeten also die zwei obersten wings ein umgekehrtes Dach. Die langen und verhältnismäßig schmalen Seitenflächen, die 8·2 Meter über die Haupttragfläche vorsprangen, haben sich als viel wirksamer erwiesen, als diese selbst. Maxim möchte jedoch auch bei einer Neukonstruktion seines Apparates von der einheitlichen Haupttragfläche nicht abgehen, wegen der durch sie bedingten Erhöhung der Sicherheit. Sie wirkt nämlich bei einem Akzident in der Luft als Fallschirm und bremst die Fallwucht so weit, daß der Apparat nicht stärker am Boden aufstößt, als bei einem Fall von etwa 1 Meter Höhe.

Eine Vorstellung von den kolossalen Dimensionen des Maximschen Drachenfliegers mögen folgende Zahlen geben. Die Gesamthöhe des Apparates bis zu den Enden der oberen Versteifungsrohre war 10·6 Meter, die Länge vom Vorderrande des Stirnsteuers bis zum Hinterrande des Rückensteuers betrug 21·3 Meter. Die Spannweite samt den Seitenflächen war 31·5 Meter. Der Apparat wog, komplett ausgerüstet, mit Wasser, Heizmaterial und drei Mann an Bord 3624 Kilogramm. Motor, Kessel samt Zubehör und die verschiedenen später beschriebenen Meßvorrichtungen sind auf einer Plattform von 2·4 Meter Länge und 12·2 Meter Breite fixiert. Die Plattform ruht auf einem wagenartigen Gestell, das auf vier Rädern läuft und zur Verminderung des Stirnwiderstandes außen mit Ballonstoff überspannt ist. Die Höhe der Haupttragfläche über der Plattform betrug 7·3 Meter. Zur Steuerung in der Lotrechten, also nach oben und unten, dienten zwei horizontale Steuer, von denen das eine an der Stirnseite des Apparates in der unmittelbaren Verlängerung der Haupttragfläche angebracht war, das andere symmetrisch an der Rückseite. Beide Steuer bestanden aus einem Rahmen, über den in derselben Weise wie die Haupttragfläche beiderseits mit Ballonstoff überspannt wurde. Die Dimensionen des Stirnsteuers waren: Länge 9·1, Breite 5·4 Meter. Das Rückensteuer besaß die gleiche Breite, war aber bloß 6·9 Meter lang. Die Steuer wurden vom Führerstande durch eine einzige Winde betätigt. Die Seitensteuerung nach rechts und links sollte durch Änderung der Tourenzahl der Schrauben erfolgen. Jede Schraube war mit einem Motor gekuppelt. Ließ man z. B. den mit der rechten Schraube (bezogen auf die Flugrichtung) verbundenen Motor durch Drosselung des Dampfzuflusses langsam laufen, so drehte sich auch die Schraube lang-

Digitized by Google

samer, es nahm deren Vortrieb ab und der Apparat erhielt deshalb einen Antrieb zur Drehung nach links und umgekehrt. Maxim kam später zur Ansicht, daß ein gewöhnliches Vertikalsteuer, knapp hinter den Schrauben angebracht, jedenfalls zweckmäßiger, wenn nicht wirkungsvoller wäre.

Das Stirnsteuer ist unter einem größeren Neigungswinkel eingestellt, als die Schiefe der Drachenfläche beträgt. Die beiden Horizontalsteuer verwendete Maxim auch zur Ausbalancierung des Apparates. Wenn das Stirnsteuer in einem Winkel eingestellt wird, der erheblich größer ist, als die Schiefe der Haupttragfläche ist, während das Rückensteuer so steht, daß es überhaupt keinen Auftrieb gibt und die Maschine läuft mit großer Geschwindigkeit, so werden die Vorderräder sich von der Schienenbahn abheben, während die Hinterräder noch auf dieser laufen. Das Umgekehrte tritt ein, wenn das Rückensteuer aufgedreht ist und das Stirnsteuer horizontal steht. Wenn beide Steuer so ein-



Fig. 150 A. Drachenflieger von Kapitän Ferber.
Ansicht von rückwärts. Schwanzsteuer in Form eines V zur Stabilisierung in der Flugrichtung. Die um eine lotrechte Achse verstellbaren dreieckförmigen Anhängsel seitlich von der unteren Tragfläche zur Kurssteuerung. (Nach einer Originalphotographie von Ferber.)

gestellt werden, daß sie den Apparat abheben, so werden alle vier Laufräder sich vom Geleise loslösen und frei in der Luft schweben. Bei einem Unfalle in der Luft stellen sich beide Steuer so ein, daß ihre Ebenen verlängert einen Keil mit der Kante nach unten bilden, das Stirnsteuer wird also nach vorn, das Rückensteuer nach hinten aufgedreht sein. Dadurch soll nach Maxim jede schlingernde Bewegung beim schrägen Niedergleiten des Apparates vermieden werden. Im Hinblicke auf die Stabilisierung des Drachenfliegers ist auch der Schwerpunkt so nahe als möglich unter das Auftriebszentrum gebracht worden. Maxim gibt an, daß der Schwerpunkt etwa 1·5 Meter hinter dem Kessel und 2 Meter über der Plattform gelegen sei. Die Aufdrehung der beiden obersten seitlichen Drachenflächen hebt beim Fall jede rollende Bewegung auf, d. i. die Drehungen um eine horizontale parallel zur Flugrichtung liegende Achse. Durch die beiden Horizontalsteuer und die beiden seitlichen Drachenflächen wird demnach eine automatische Stabilisierung erzielt.

Digitized by Google

Zur Durchführung der Versuche wurde der Apparat auf eine Schienenbahn von 2·4 Meter Spurweite gestellt. Außerhalb dieses Geleises war ein zweites aus Fichtenbalken von $7^1/_2$ und 23 Zentimeter Querschnitt angebracht mit einer Spurweite von 9 Meter. Der Apparat war mit zwei Reihen von Rädern versehen. Die ersten liefen auf dem Schienengeleise, die zweiten auf der Unterseite des Holzgeleises, wenn das erste Räderpaar sich ein Zoll ($2^1/_2$ Zentimeter) klar vom Schienengeleise abgehoben hatte. Das Holzgeleise sollte bloß zur Führung des Apparates dienen, um ein unvorhergesehenes allzuweites Abheben des Drachenfliegers im Versuchsstadium zu verhindern. Auch sollte dadurch das gefährliche Umkippen des Apparates bei seitlichen Windstößen vermieden werden. Die Achsen der Räder waren auf Stahlfedern gelagert, so daß der ganze Apparat wie auf einer Federwage ruhte. Ein Schreibstift zeigte auf einer graduierten Trommel das jeweilige Gewicht der Belastung, und zwar sowohl der Vorderräder als auch der Hinterräder an. Die Schreibtrommeln drehten sich, wenn der Apparat eine Strecke von 518 Meter zurückgelegt hatte, gerade einmal herum. Man erhielt also, wenn der Apparat über die Bahn lief, ein Diagramm, welches genau den Betrag des Auftriebes der Vorder- und Hinterräder auf jedem Punkte der zurückgelegten Strecke anzeigte. Schon die Anbringung dieser Dynamographen zur automatischen Aufzeichnung des Auftriebes läßt erkennen, daß Maxim seine Versuche nicht allein vom Standpunkte des „Erfinders" durchführte, er begnügte sich nicht damit zu konstatieren, ob sein Apparat überhaupt flugfähig sei oder nicht, sondern führte auch eine Reihe von wertvollen Messungen aus, die seinen Experimenten dauernden Wert verleihen. Die berühmten englischen Physiker Lord Rayleigh und Lord Kelvin brachten den Experimenten Maxims großes Interesse entgegen und es mag die Anwendung der physikalischen Forschungsmethode auf flugtechnische Studien, die wir bei Maxim zum ersten Male finden, vielleicht zum Teil auf Anregung der genannten Physiker erfolgt sein.

Auch bei der Durchführung der Versuche mit dem fertig gestellten Apparate ging Maxim streng systematisch vor. Auf einer runden Bahn von 1600 Meter Länge wurden zunächst die Motore erprobt. Mit Geschwindigkeiten von 30 bis 160 Kilometern wurde der Apparat (ohne Tragflächen) vermittels der Schrauben vorwärts getrieben, wobei alle Details des Motors, Pumpen, Kondensator, Schraubenzug usw. ausprobiert werden konnten. Erst nachdem der Motor tadellos arbeitete, wurden die Drachenflächen gespannt und begann eine neue Versuchsserie über den Auftrieb und Rücktrieb der Tragflächen. Durch wiederholte kleine Zwischenfälle erlitt die Durchführung der Versuche große Verzögerungen. Einmal rissen ein paar Drähte, kamen in die Räder und richteten argen Schaden an. Nach einigen Abänderungen wurde bei einem Versuche am 17. Februar 1893 eine Geschwindigkeit von 43 Kilometer erzielt mit einem Schraubenzug von bloß 317 Kilogramm. Der Auftrieb der Stirnräder betrug 1132 Kilogramm, jener der Hinterräder 1268 Kilogramm, zusammen wurde also das Apparatgewicht um 2400 Kilogramm entlastet. Nach einigen Änderungen in der Verteilung der Haupttragfläche wurde der Stirn-

Digitized by Google

widerstand wesentlich herabgedrückt. Der Auftrieb der Vorderräder wurde jetzt gleich dem auf ihnen lastenden Gewichte. Um ein vorzeitiges Abheben zu verhindern, ließ Maxim drei Mann auf den vorderen Teil der Plattform setzen und montierte überdies zwei schwere eiserne Laufräder so auf, daß die kleinen Räder sich 5 Zentimeter abheben konnten, bevor die großen die Schienen verließen. Das Gewicht der schweren Räder samt ihren Achsen war gegen 770 Kilogramm. Als der Apparat 120 Meter zurückgelegt hatte, hoben sich die zwei kleinen Vorderräder von der Schienenbahn ab, und als Maxim eben stoppen wollte, auch die großen. Als der Apparat sich wieder senkte, entgleiste ein Rad und sank in dem durchweichten Boden ein. Dadurch neigte sich der Apparat zur Seite. Ein Windstoß und unverständige Helfer bewirkten eine arge Beschädigung der Versteifungen. Die erreichte maximale Geschwindigkeit betrug 43 Kilometer. Der Auftrieb



Fig. 150 B. Drachenflieger von Kapitän Ferber.

Ansicht von vorn. Antrieb durch zweiflügelige, löffelförmige Schraube. Horizontale Steuerfläche für die Höhensteuerung und Stabilisierung. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris).

war nach den Aufzeichnungen der Dynamographen gegen 2720 Kilogramm. Ein Teil des Auftriebes ist nach Maxim auf Rechnung des Windes zu setzen, der im letzten Teile der Fahrt als Gegenwind auftrat. Die gesamte Tragfläche war 293 Quadratmeter. Die Schiefe der Haupttragfläche war 1 : 9 oder 6° 20'. Der Motor erlitt bei dem Unfall keinerlei Beschädigung. Nach Wiederherstellung der Tragflächen wurden die Versuche fortgesetzt. Ein Experiment ist besonders bemerkenswert, weil bei diesem das ganze Gewicht des über 3200 Kilogramm schweren Apparates sich tatsächlich auf einer größeren Strecke frei vom Schienengeleise abhob. Als der Dampfdruck 19 Kilogramm pro Quadratzentimeter erreichte und eine Strecke von etwa 180 Meter auf dem Schienengeleise zurückgelegt war, lief die Maschine schon zum Teile auf den oberen Rädern. Als aber die Dampfspannung 22 Kilogramm erreicht hatte, waren alle vier Laufräder im Kontakt mit den seitlichen Sicherheitsrädern. Nach einer Strecke von etwa 300 Meter

Digitized by Google

wurde der Auftrieb so groß, daß die Hinterachse abgebogen wurde. Das Hinterende des Apparates erhob sich auf etwa 4 Fuß; das Vorderrad durchbrach die Stützhölzer, von denen ein Stück in das untere Rahmenwerk flog und dieses schwer beschädigte. Der Dampf wurde sofort abgesperrt, worauf der Apparat wieder ohne erheblichen Stoß sich am Boden aufsetzte. Der Schraubenzug erreichte bei diesem denkwürdigen Versuch gegen 906 Kilogramm, die maximale Motorleistung betrug 362 Pferdekräfte. Der Motor hatte keinen Schaden gelitten. Der gesamte Auftrieb wird von Maxim mit 4530 Kilogramm angegeben; er überstieg also das Gewicht des ganzen Apparates samt Bemannung um mehr als 900 Kilogramm. Maxim wäre also imstande gewesen, noch 900 Kilogramm Ballast in Form von Speisewasser und Heizmaterial mitzunehmen. Die gesamte Tragfläche betrug bei dem zuletzt beschriebenen Versuche 371 Quadratmeter.

Der Auftrieb des ganzen Apparates samt kompletter Ausrüstung und 3 Mann Besatzung war pro Pferdekraft nicht ganz 12·6 Kilogramm. Maxim meint, es wäre nach einigen Verbesserungen möglich, den Auftrieb auf 20—30 Kilogramm zu erhöhen und hält es für nicht ausgeschlossen, selbst 45 Kilogramm Auftrieb pro Pferdekraft zu erhalten. Die in so großem Maßstabe durchgeführten Experimente hatten ungefähr eine halbe Million Kronen gekostet. Obwohl alle prinzipiellen Fragen gelöst waren, sah Maxim doch von der Fortsetzung seiner Forschungen ab, und zwar hauptsächlich weil er gefunden hatte, daß sein Experimentierfeld für Versuche mit einem so riesigen Apparate viel zu klein wäre. Er konnte bloß eine Schienenbahn von 550 Meter Länge benützen, die nur bei Windstille verwendbar war, oder wenn der Wind genau in der Richtung des Geleises wehte. In allen Fällen bestand die Gefahr, daß der Apparat durch den Seitenwind umgeworfen werden könnte.

Maxim hat sich wiederholt geäußert über die Verbesserungen, die er an einer eventuellen Neukonstruktion seines Apparates anzubringen gedenke. An Stelle des Dampfmotors würde er einen Benzinmotor verwenden. Er meint, die Wirkung der Schrauben könnte wesentlich erhöht werden, wenn deren Durchmesser auf 24 Fuß (7·2 Meter) vergrößert würde. Auch hält er 4 Schraubenblätter bei so großen Schrauben für wirksamer als bloß zwei. Ganz besondere Sorgfalt würde er der möglichsten Verringerung des Stirnwiderstandes widmen. Das Rahmengerüste soll einen rechteckigen Querschnitt erhalten, vorn und hinten zugespitzt und mit Ballonstoff überspannt werden. Um Bewegungen in der Horizontalebene rasch zu dämpfen und Gleichgewichtsstörungen möglichst hintanzuhalten, gab Maxim seinem Drachenflieger eine große Längenausdehnung im Sinne der Flugrichtung. Bei einem neuen Apparate wollte er die Vertikalsteuerung automatisch vermittels eines Gyroskopes erzielen. Er hatte zu diesem Zwecke bereits einen besonderen Apparat konstruiert. Dieser bestand aus einem Dampfkolben, der direkt auf das Stirn- und Rückensteuer wirkte; die Dampfzufuhr wurde durch ein Gyroskop geregelt.

Die wesentlichsten Ergebnisse der vielfach grundlegenden Studien Maxims lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen: Es ist möglich,

Digitized by Google

einen Dampfmotor zu bauen, der samt Kessel bloß 2·2 Kilogramm pro Pferdekraft geleisteter Arbeit wiegt; einschließlich Gasgenerator, Speiswasser, Kondensator und Pumpen kann das Motorgewicht unter 5 Kilogramm pro Pferdekraft herabgedrückt werden. Man kann auch mit sehr großen Tragflächen bei Geschwindigkeiten von rund 65 Kilometern einen Auftrieb von über 12 Kilogramm pro Quadratmeter erhalten. Leicht gewölbte, sehr dünne und scharfe Flächen geben Auftriebe bis über 35 Kilogramm pro Quadratmeter. Die Übereinanderstellung der Tragflächen vermindert deren spezifischen Auftrieb. Am günstigsten sind treppenförmige Anordnungen mit aufsteigenden Stufen von vorn nach hinten. Günstig wirkende Tragflächen müssen völlig steif sein und dürfen sich durch den Druck der Luft nicht deformieren. Schmale Flächen tragen pro Flächeneinheit mehr als breite. Am günstigsten wirken Luftschrauben mit vollkommen starren Flügeln. Die Oberfläche soll möglichst glatt sein, die Schraubenblätter seien aus Stahlblech vorn und hinten scharf zugespitzt. An den Flügelspitzen können die Blätter breiter genommen werden als an der Nabe. Die Steigung der Schraube soll nicht größer als das Dreifache des Durchmessers gewählt werden; sonst tritt Ventilatorwirkung ein. Die Versteifungen der Tragflächen und des Apparatgestelles werden am besten aus Stahlrohren hergestellt. Für die Bespannung der Tragflächen erweist sich am vorteilhaftesten ein dichter Baumwollballonstoff. Die Tragflächen sollen unten und oben glatt überspannt werden, so daß das Versteifungsgerüste ganz in den Stoff eingeschlossen ist und ein möglichst steifer und glatter Flächenkörper entsteht.



Fig. 150 C. Drachenflieger von Kapitän Ferber.

Apparat im Fluge. Schraubenflügel infolge der raschen Rotation bloß als zwei weiße Flecke erkennbar. (Nach einer Originalphotographie von Ferber.)

Alle obigen Ergebnisse standen schon im Jahre 1894 allen flugtechnischen Erfindern und Forschern zur Verfügung. Es ist bedauerlich, daß die wenigsten die grundlegenden Arbeiten Maxims sich zunutze machten, es gilt dies insbesonders betreffs seiner Studien über die rationellste Konstruktion von Luftschrauben, die Anordnung und Konstruktion der Tragflächen, die zweckmäßigste Methode der Erprobung der Apparate usf. Wenn es Maxim auch nicht gelungen ist, ein vollkommen flugfähiges Luftvehikel zustande zu bringen, bezeichnen seine Arbeiten doch einen wesentlichen Fortschritt in der Flugtechnik.

Im folgenden sind einige Publikationen Maxims über seine flug-

Digitized by Google

technischen Forschungen zusammengestellt: „Experiments in Aerodynamics“, Journal of the Society of Arts, London 1894. Ausführliche briefliche Mitteilungen an Chanute, zitiert in dessen „Progress in flying machines“, Chicago 1894; „A new flying machine“, The century magazine 1895; „Natural and artificial flight“, Aeronautical Annual 1896; „Screw-propellers working in air“, ibd. 1897; Shall we ever fly? A short Review, London.

Der Drachenflieger von Langley. Der berühmte amerikanische Astronom und Physiker S. P. Langley begann im Jahre 1886 der Flugtechnik seine Aufmerksamkeit zu schenken. Er legte sich zunächst die Frage vor, welche mechanische Arbeit nötig wäre, um ein gegebenes Gewicht in der Luft in Schwebe zu halten bei einer gegebenen Translationsgeschwindigkeit. Er meinte, eine Untersuchung über diesen Punkt müßte einem Versuche der Erzielung eines mechanischen Fluges notwendig vorhergehen. Um das gestellte Problem zu lösen, begann Langley im Jahre 1887 ausgedehnte experimentelle Studien über den Luftwiderstand, die er mit Unterbrechungen vier Jahre lang fortsetzte. Die Ergebnisse dieser Studien sind in dem 1891 publizierten (1901 in zweiter Auflage erschienenen) Werke „Experiments in Aerodynamics“ niedergelegt.

Wegen der großen Bedeutung der Langleyschen Luftwiderstandsstudien, die als vorbildlich angesehen werden müssen, soll auf die Art deren Durchführung kurz hingewiesen werden. Die Versuche wurden mit einem großen Rundlaufapparate von 18·2 Meter Durchmesser angestellt. Der Rundlauf bestand aus einem horizontalen, entsprechend versteiften Balken, der um eine durch seine Mitte gehende lotrechte Achse in Rotation versetzt werden konnte. An den Enden der Arme des Rundlaufes wurden die Versuchsflächen angebracht. Der Antrieb des Rundlaufes erfolgte durch eine zehnpferdige Dampfmaschine. Die Versuchsflächen konnten mit Geschwindigkeiten von 4 bis 45 Meter in der Sekunde herumgetrieben werden. Die Geschwindigkeit der Drehung konnte sehr genau durch einen Chronographen in Verbindung mit elektrischen Gleitkontakten auf der Drehachse bestimmt werden. Die größte Breite der verwendeten Versuchsflächen war 76 Zentimeter. Der Druck gegen den äußeren Rand der Versuchsfläche unterscheidet sich deshalb von dem gegen den inneren Rand um weniger als $^1/_5$ Prozent. Der Einfluß der kreisförmigen Herumführung der Versuchsfläche konnte sonach vernachlässigt werden. Man kann deshalb annehmen, daß die für den Langleyschen Rundlauf gefundenen Werte für die Widerstandszahlen auch für geradlinige Translationsbewegungen gelten. Die Luftwiderstandswerte sind bei den Langleyschen Versuchen so groß, daß ihnen gegenüber die Reibung der Luft unmerklich wird. Die Richtung des Luftwiderstandes kann deshalb normal zur Fläche angesetzt werden. Man nimmt gegenwärtig allgemein an, daß gewöhnlich keine Gleitung einer Flüssigkeit längs der Oberfläche eines Körpers stattfindet, sondern daß ein Häutchen von Luft an der Oberfläche adhäriert und daß die beobachtete Reibung wesentlich die innere Reibung oder die Viskosität der Flüssigkeit darstellt. Nach der von Maxwell gegebenen Formel beträgt dann die wirkliche Tangentialkraft in der Richtung der Flächenebene auf

Digitized by Google

eine ebene quadratische Platte von 1 Quadratdezimeter Inhalt bei einer Verschiebung derselben in ihrer Ebene mit einer Geschwindigkeit von 30 Meter pro Sekunde bloß 0·12 Dynen, d. i. weniger als $^1/_{50}$ von 1 Prozent des Druckes gegen dieselbe Platte bei Normalstellung mit dieser Geschwindigkeit. Daraus folgt, daß die Luftreibung wenigstens für die hier in Betracht kommenden Versuche vernachlässigt werden kann.

Langley fand das Gesetz der quadratischen Zunahme des Luftwiderstandes mit der Geschwindigkeit von 4 bis 30 Meter pro Sekunde

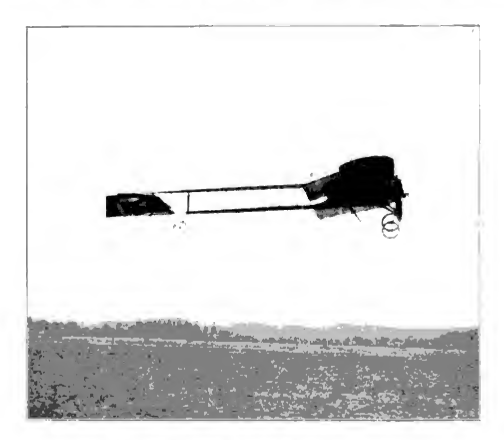


Fig. 151. Drachenflieger von Blériot.
Apparat im Fluge von der Seite. Propulsionsschraube an der Stirnseite. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris).

bestätigt. Es ergab sich, daß der Luftwiderstand außer von der Geschwindigkeit und dem Areal auch noch wesentlich abhängig ist von der Flächenform. Für eine mittlere Lufttemperatur von 10 Grad und einen mittleren Luftdruck von 735 Millimeter folgt bei senkrechtem Luftstoß und der Geschwindigkeit von 1 Meter pro Sekunde ein Druck von 0·008 Gramm pro Quadratzentimeter. Darnach würden sich folgeweise für den Druck bei senkrechtem Luftstoß gegen eine Fläche von 1 Quadratzentimeter und den Geschwindigkeiten von 10, 20 und 30 Meter pro Sekunde folgende Luftwiderstandswerte ergeben: 80, 320 und 720 Gramm.

Die Größe des Luftwiderstandes ist auch abhängig von dem Winkel, unter dem eine Fläche durch die Luft bewegt wird. Langley zeigte, daß das schon von Duchemin aufgestellte Gesetz über die Ab-

Digitized by Google

hängigkeit des Luftwiderstandes vom Schiefstellungswinkel bis zu Geschwindigkeiten von 30 Meter zutrifft. Damit war die völlige Unhaltbarkeit der sogenannten Newtonschen Formel bewiesen; nach dieser sollte der Normaldruck sich im Verhältnisse des Quadrates des Sinus des Schiefstellungswinkels ändern. F. v. Loessl setzte auf Grund seiner Versuche den Normaldruck einfach proportional dem Sinus des Schiefstellungswinkels. Bei kleinen Schiefstellungswinkeln, bis etwa 10 Grade, ergibt die Duchemin-Langleysche Formel fast genau die doppelten Werte für den Normaldruck wie die Loesslsche einfache Sinusformel. Bei kleinen Schiefstellungswinkeln folgen aus der Duchemin-Langleyschen Formel nahezu 20mal größere Werte als aus der früher allgemein verwendeten Newtonschen Sinus-Quadratformel. Da die Oberflächenreibung, wie Langley gezeigt hat, bis zu Geschwindigkeiten von 30 Meter vernachlässigt werden kann, steht die Richtung des resultierenden Luftwiderstandes bei ebenen Flächen stets senkrecht auf deren Ebene. Beim senkrechten Luftstoß fällt der Angriffspunkt des resultierenden Gesamtwiderstandes, der sog. Druckmittelpunkt, mit dem geometrischen Mittelpunkt der Fläche zusammen, beim schrägen Luftstoß liegt der Druckmittelpunkt vor dem geometrischen Mittelpunkt und verschiebt sich mit abnehmendem Schiefstellungswinkel immer mehr gegen den Vorderrand der Fläche. Langley hat mittels einer eigenen Vorrichtung die Lage des Druckmittelpunktes einer quadratischen Platte für verschiedene Schiefstellungswinkel bestimmt. Kummer hatte schon früher für quadratische und rechteckige Platten die Lage des Druckmittelpunktes bei verschiedenen Schiefstellungswinkeln aufgesucht und ganz ähnliche Werte gefunden wie Langley. In der Hydraulik ist die besprochene Tatsache der Wanderung des Druckmittelpunktes als das Avanzinische Gesetz bekannt.

Die lotrechte Sinkgeschwindigkeit einer frei fallenden wagerecht gestellten Platte wird erfahrungsgemäß kleiner, wenn man die Platte in ihrer Ebene verschiebt. Die Fallstrecke in der Zeiteinheit erhält im Vergleich zu der beim lotrechten Niedersinken durchfallenen Höhe einen um so kleineren Wert, je größer die seitliche Verschiebung der Platte in der Zeiteinheit ist. Da jede Verringerung der Fallgeschwindigkeit in der Luft im Verhältnis zum Fall im luftfreien Raum die Folge eines der Richtung der Schwerkraft entgegengerichteten aerodynamischen Auftriebes ist, kann man aus der Fallverminderung beim schrägen Gleitfall folgern, daß der aerodynamische Auftrieb zunimmt, wenn die Tragflächen eine Translationsbewegung in ihrer Ebene annehmen. Wird einer lotrecht niedersinkenden Platte eine seitliche Verschiebungsgeschwindigkeit in ihrer Ebene erteilt, so muß der Schwerpunkt der Platte, da diese die vertikale und die horizontale Bewegung nicht gleichzeitig ausführen kann, in der Richtung der Diagonale des aus den beiden Geschwindigkeiten gebildeten Parallelogrammes bewegen. Die Geschwindigkeit der resultierenden schrägen Bewegung muß deshalb entsprechend der seitlichen Verschiebung größer werden als beim senkrechten Fall. Die Ebene der schräg sinkenden Platte bildet mit der Bewegungsrichtung einen spitzen Winkel. Wir haben also ein Problem des schrägen Luftstoßes vor

Digitized by Google

uns. Die Richtung des resultierenden Luftwiderstandes steht senkrecht auf der Ebene der Platte, ist also lotrecht nach oben gerichtet, und wirkt deshalb seinem ganzen Betrage nach als aerodynamischer Auftrieb, der das scheinbare Gewicht der Platte vermindert. Da der Luftwiderstand im quadratischen Verhältnis zur resultierenden Geschwindigkeit wächst und im Verhältnis des Sinus des Winkels zwischen der Bewegungsrichtung und der Plattenebene abnimmt, ist es auch leicht verständlich, daß der vermindernde Einfluß der schrägen Bewegung aufgewogen wird durch die Vergrößerung der Translationsgeschwindigkeit. Nehmen wir an, die lotrechte Geschwindigkeitskomponente der sinkenden Platte sei 1 Meter, die horizontale wäre zehn-



Fig. 152 A. Drachenflieger von W. Wright.

Ansicht von der Seite. Rechts das aus zwei horizontalen Flächen bestehende Höhensteuer, das zugleich als Stabilisator dient. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris.)

mal so groß. Die Richtung der resultierenden Geschwindigkeit, also auch der Fortbewegung der schräg niedergleitenden Platte, schließt in diesem Falle mit der wagerecht liegenden Plattenebene einen Winkel von rund 6 Graden ein. Der Sinus eines Winkels von 6 Graden ist rund gleich $^1/_{10}$; die resultierende Geschwindigkeit ist ein wenig größer als 10 Meter. Wegen der 10 mal so großen Geschwindigkeit des seitlichen Niedergleitens wird der Druck (im quadratischen Verhältnisse) 100 mal so groß wie beim lotrechten Fall, wegen des schrägen Gleitfalles sinkt der Druck dagegen auf den 10. Teil gegenüber seinem Werte beim lotrechten Fall. Es bleibt deshalb noch immer die 10fache Druckvermehrung beim Gleitfall in dem betrachteten Beispiele. Man hat zur Erklärung der Druckvermehrung und der daraus folgenden Fallverminderung eine Reihe von Hypothesen aufgestellt, die aber

Digitized by Google

zum Teil unhaltbar, zum Teil überflüssig sind. Nach F. v. Loessl wäre die Widerstandsvermehrung beim Gleitfall auf die scheinbare „Vergrößerung der Stützfläche“ zu setzen. Loessl setzt die Druckvermehrung proportional der pro Zeiteinheit überstrichenen Fläche. Die Loessl'sche Hypothese entbehrt aber der zureichenden physikalischen Begründung, sie ist nicht nur unhaltbar, sondern auch überflüssig, da, wie gezeigt wurde, die Druckvermehrung beim Gleitfall sich in völlig zureichender Weise aus den Gesetzen des schiefen Luftstoßes erklärt; es ist deshalb auch eine speziell auf diesen Fall zugeschnittene Hypothese entbehrlich. Obwohl das Problem des schrägen Gleitfalles, die sogenannte Sinkverminderung beim Gleiten, durch den Hinweis auf die Gesetze des schiefen Luftstoßes seine Erklärung findet, ist es doch von Interesse, durch direkte messende Versuche den Nachweis zu erbringen, daß die Falldauer einer fallenden Platte tatsächlich zunimmt, wenn man dieser ohne Änderung der wagerechten Lage eine horizontale Geschwindigkeit erteilt. Langley hat zahlreiche Versuche nach dieser Richtung mit einer von ihm „plane dropper“ genannten Vorrichtung ausgeführt. Er ließ wagerecht gestellte Platten von verschiedener Form und Größe längs einer senkrechten Führung niederfallen. Der Führungsrahmen war am äußeren Ende eines Armes des Rundlaufes angebracht. Durch Drehung des Rundlaufes konnte somit der lotrecht niedersinkenden Platte gleichzeitig auch eine horizontale Geschwindigkeit erteilt werden. Die gesamte Falldauer und auch die Sinkgeschwindigkeit in den einzelnen Teilen der Fallstrecke konnte auf elektrischem Wege recht genau gemessen werden. Eine rechteckige Platte von 10 Zentimeter Breite (parallel zur Flugrichtung) und 46 Zentimeter Länge im Gewichte von 465 Gramm durchfiel ohne horizontale Vorwärtsbewegung eine Höhe von 1·2 Meter in einer halben Sekunde. Wurde der Platte eine horizontale Geschwindigkeit von 10 Meter erteilt, so erhöhte sich die Falldauer für die gleiche Strecke auf $^3/_4$ Sekunden, bei 20 Meter überstieg sie 2 Sekunden. Es ergab sich weiters, daß bei gleicher Größe und bei demselben Gewicht Flächen, die in der Flugrichtung schmal sind, langsamer fallen als breite. Daraus folgt, daß die Größe des Luftwiderstandes auch abhängig ist von der Form der Fläche. Lange und schmale Flächen geben, wenn sie in der Richtung der Schmalseite in horizontaler Lage schräg niedergleiten, einen größeren Auftrieb als kurze und breite Flächen, die in der Richtung der Langseite sich bewegen. Die Lage einer Fläche zur Richtung der Fortbewegung wollen wir deren Exponierung nennen und dabei unterscheiden zwischen der longitudinalen (Langseite parallel zur Bewegungsrichtung) und der lateralen Exponierung (Langseite senkrecht zur Bewegungsrichtung). Es wurden auch die Schwebegeschwindigkeiten verschiedener Flächenformen bei gegebenen Schrägstellungswinkeln bestimmt. Dabei ergab sich wieder die Tatsache, daß Flächen von gleicher Größe und gleichem Gewicht bei lateraler Exponierung, wenn sie unter dem gleichen Schrägstellungswinkel eingestellt werden, eine kleinere Schwebegeschwindigkeit besitzen als bei longitudinaler Exponierung. Auch dieser Befund weist darauf hin, daß das Gleitproblem prinzipiell identisch ist mit dem schrägen Luftstoß.

Digitized by Google

Wenham, Stringfellow u. a. suchten bekanntlich durch Übereinanderstellung mehrerer Tragflächen das Areal der Drachenflächen zu erhöhen, ohne allzu große Flächenspannweiten zu erhalten. Es war anzunehmen, daß durch die Übereinanderstellung der Trageffekt jeder einzelnen herabgemindert werde und daß auch die Distanz, in welcher die einzelnen Flächen voneinander abstehen, nicht ohne Einfluß auf das Tragvermögen sein würde. Langley versuchte zuerst den Effekt der Übereinanderstellung der Tragflächen quantitativ zu bestimmen. Er ließ Flächenpaare von verschiedener Größe, die in veränderlichen Distanzen voneinander angebracht waren, mittels des schon kurz skizzierten Apparates frei fallen und bestimmte die Falldauer bei verschiedenen Translationsgeschwindigkeiten. Es ergab sich in der Tat,

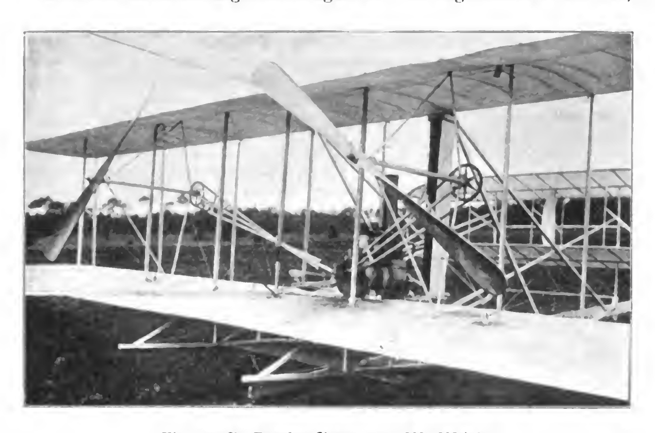


Fig. 152 B. Drachenflieger von W. Wright.
Ansicht schräg von hinten. Die Propulsionsschrauben mit Kraftübertragung und Motor.
(Originalphotographie von Branger, Paris.)

daß der Trageffekt eines Systems von übereinandergestellten Tragflächen im allgemeinen kleiner ist als die Summe der Auftriebswerte jedes Elementes für sich. Nur wenn die Distanz der Abstände der einzelnen Tragflächenelemente einen gewissen Betrag überschreitet, ist der Auftrieb des ganzen Systems gleich der Summe der Auftriebe jedes einzelnen Elementes für sich. Für rechteckige Flächen von 38 Zentimeter Länge und 10 Zentimeter Breite fand Langley als Minimaldistanz, bei welcher keine gegenseitige Beeinflussung der Flächen, keine „Interferenz“ eintritt, den Wert von 1·2 Meter. Bei geringerer Entfernung der Flächenelemente tritt dagegen eine erhebliche Herabminderung des Trageffektes ein. Weiter zeigte sich, daß jene kritische

Digitized by Google

Minimaldistanz abhängig ist von der Translationsgeschwindigkeit. Je größer die Translationsgeschwindigkeit wird, um so geringer kann die Distanz werden, ohne daß Interferenz auftritt. Langley zog aus den Ergebnissen seiner Luftwiderstandsversuche den Schluß, daß die Herstellung einer ballonfreien Flugmaschine praktisch möglich sei, u. zw. selbst mit den 1891 zur Verfügung stehenden Motoren. Er fand nämlich für eine Fläche von 76 Zentimeter Länge, 12 Zentimeter Breite und 500 Gramm Gewicht bei einem Schiefstellungswinkel von 2 Grad eine Schwebegeschwindigkeit von 20 Meter pro Sekunde. Nimmt man an, daß für eine entsprechend große Fläche die gleichen Beziehungen gelten, so würde man für jede Pferdekraft der Motorarbeit 95 Kilogramm dauernd in gleichbleibender Höhe in Schwebe halten und mit der Geschwindigkeit von 20 Meter durch die Luft treiben können. Handelt es sich um die Herstellung einer realen Flugmaschine, so kommt außer der Schwebearbeit noch die Translationsarbeit in Betracht. Bei zweckmäßigem Bau des Rumpfes des Flugkörpers und der Versteifungen der Tragflächen kann die Translationsarbeit gegenüber der Schwebearbeit nahezu vernachlässigt werden. Die Translationsarbeit reduziert sich in diesem Falle ja auf die bloße Reibungsarbeit zwischen dem der Außenhaut des Rumpfes des Flugkörpers anhaftenden Lufthäutchen und der umgebenden Luft. Wegen der außerordentlich geringen inneren Reibung der Luft wäre für die praktisch in Betracht kommenden Fluggeschwindigkeiten die Translationsarbeit theoretisch ganz zu vernachlässigen. Wenn bei den bisher konstruierten Apparaten die Translationsarbeit sich in hohem Grade bemerkbar machte und bei größeren Geschwindigkeiten numerisch der Schwebearbeit gleichkam, ja diese selbst überstieg, muß man daraus folgern, daß die Rumpfkonstruktion des Apparates nicht zweckmäßig war. Bei großen Flugschiffen, die zum Transport von vielen Personen bestimmt sind, wird man auf die möglichste Verringerung des Rumpfwiderstandes große Sorgfalt verwenden müssen; denn je geringer die Translationsarbeit ist, um so rascher wird man fliegen können und um so größer wird der Nutzeffekt des Apparates sein.

Nach Abschluß seiner großen Luftwiderstandsstudien ging Langley an den Bau von kleinen Modellen eines Drachenfliegers; diese wurden zunächst durch gedrehte Gummischnüre angetrieben. Er baute dann bis zum Jahre 1896 sechs verschiedene Typen von größeren Drachenfliegermodellen, von denen eines durch komprimierte Luft, die anderen durch kleine Dampfmaschinen angetrieben wurden. Nach einer langen Reihe von stets mißlungenen Versuchen gelang es Langley im Sommer 1896 endlich sein „Aerodrome Nr. 5“ zum freien Fluge zu bringen. Der Apparat wog komplett samt Motor, Speisewasser für den Kessel und Brennmaterial 11 Kilogramm. Er hielt sich $1^1/_2$ Minuten lang in der Luft und durchflog eine Strecke von 900 Meter. Bei einem späteren Versuche hielt sich das 13·6 Kilogramm schwere Aerodrom Nr. 6 $1^3/_4$ Minuten lang oben und legte dabei eine Strecke von 1600 Meter mit einer mittleren Flügelgeschwindigkeit von 15 Meter in der Sekunde zurück. Wegen des erheblichen Interesses, das diese Versuche beanspruchen, sollen über die Konstruktion des Apparates selbst und auch die Art ihrer Durchführung die wesentlichsten Daten mitgeteilt

Digitized by Google

werden. Das Aerodrom Nr. 6 besteht aus zwei rechteckförmigen, gleichgroßen Tragflächen, die in derselben Ebene hintereinander angeordnet sind. Die Spannweite eines Flügelpaares beträgt 4·3 Meter, die Breite der Flügel 0·6 Meter. Die gesamte Länge des Apparates ist $4^1/_2$ Meter. In der Flugrichtung sind die Tragflächen schwach gewölbt. Das Rückgrat des Apparates bildet ein Stahlrohr, an dem die Tragflächen, der Rumpf mit dem Motor, sowie ein zylindrischer Schwimmer anmontiert sind. Der Schwimmer soll den Apparat beim Landen am Wasser vor dem Untersinken schützen. Der Vortrieb erfolgt durch zwei zwischen den Tragflächen nebeneinander angebrachte Propellerschrauben. Die Schrauben haben zwei Blätter, sie besitzen einen Durchmesser von 1·2 Meter und laufen mit einer maximalen Tourenzahl von 1200 in der Minute. Zur Verminderung des Stirnwiderstandes ist der aus Stahlrohren hergestellte bootförmige Rumpf mit Blech



Fig. 152 C. Drachenflieger von W. Wright.

Ansicht von rückwärts. Details der Schrauben und des Antriebes. Die senkrechten Flächen neben dem einen Kettenrade bilden den Kühler. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris.)

überzogen. Der kleine Dampfmotor stellt ein Meisterwerk der Mechanikerkunst dar. Er besitzt zwei Zylinder von 31 Millimeter Bohrung und 50 Millimeter Hub. Der Kessel hat einen äußeren Durchmesser von 76 Zentimeter, er besteht aus Kupferrohren von 9 Millimeter Durchmesser. Der Dampfdruck im Kessel kann auf 8 bis $10^1/_2$ Kilogramm pro Quadratzentimeter gesteigert werden. Der Apparat nimmt, komplett ausgerüstet, 1·8 Kilogramm Wasser und nahezu 0·3 Kilogramm Benzin zur Kesselheizung mit. Etwa der vierte Teil des Gesamtgewichtes des Apparates entfällt auf den Motor. Die maximale Flugdauer des Aerodroms beträgt wegen des großen Dampfverbrauches des Motors nur 5 Minuten. Um zu verhindern, daß der Apparat auf Land niedergeht, wurde indes seine maximale Flugdauer auf bloß 2 Minuten beschränkt. Der Motor leistet bei voller Beanspruchung 1 bis $1^1/_2$ Pferdekräfte und wiegt mit allen bewegten Teilen bloß 0·7 Kilogramm. Das Gewicht des Dampfgenerators und der Feuerung beträgt ein wenig über 2·3 Kilogramm. Zur Stabilisierung des Apparates

Digitized by Google

in longitudinaler und transversaler Richtung dienen zwei an der Rückseite im rechten Winkel zueinander angebrachte Flächen; die eine dieser Flächen steht lotrecht und dient zur Kurserhaltung des Schiffes, die wagerechte Fläche soll ein Kippen nach vorn oder hinten verhindern. Um den Apparat gegen ein seitliches Umkippen zu versichern und Schlingerbewegungen zu dämpfen, sind die Tragflächenpaare unter einem Winkel von 135 Grad gegeneinander geneigt, so daß sie also von vorn gesehen ein sehr flaches V bilden. Langley hielt es, gleich anderen Experimentatoren, für zweckmäßig, die ersten Versuche über Wasser anzustellen. Er ließ zu diesem Zwecke auf einer in einem Flusse verankerten Barke einen 10 Meter hohen Aufbau ausführen, der oben eine ebene Plattform trug. Von dieser Plattform aus wurde der Abflug in folgender Weise eingeleitet: Zunächst wird der Apparat auf ein auf Schienen rollendes wagenartiges Gestell gebracht. Hierauf wird dem Wagen mittels starker gespannter Stahlfedern und zweier Kolbenbüchsen eine entsprechend große Anfangsgeschwindigkeit erteilt. Sobald der Wagen das Ende der Plattform erreicht hat, wird er automatisch gebremst, während der Apparat sich von der Unterlage abhebt und seinen freien Flug beginnt. Ist das Fahrzeug gut ausbalanciert, so wird es, ohne zu kippen, sich zunächst in schwachgeneigter Bahn senken, wodurch die Fluggeschwindigkeit so lange zunimmt, bis die Schwebegeschwindigkeit erreicht ist. Sobald dies der Fall ist, bewegt sich der Drachenflieger unter dem Einflusse des Schraubenvortriebes in wagerechter oder auch schwach ansteigender Richtung, und zwar so lange, bis der Betriebsstoff des Motors verbraucht ist, worauf der Apparat sich stetig und langsam senkt, um nach einem längeren oder kürzeren Gleitfluge sanft zu landen.

Am 6. Mai 1896 gelang es Langley nach vielen Bemühungen, sein Aerodrom Nr. 5 endlich zum ersten Male zu einem längeren freien Fluge zu bringen. Der Apparat war genau nach der Type des beschriebenen Aerodroms Nr. 6 gebaut, nur war sein Gewicht etwas kleiner. Er wog 11 Kilogramm. A. Graham Bell, der bekannte Verbesserer des Telephons, war Augenzeuge dieses berühmten Versuches und beschreibt den Verlauf desselben in einem Berichte an die Pariser Akademie: „Das Aerodrom erhob sich zunächst direkt gegen den Wind, bewegte sich die ganze Zeit mit bemerkenswerter Stabilität und schwang sich schließlich in großen Kurven von vielleicht 100 Yards[1]) Durchmesser, wobei es unausgesetzt stieg, bis sein Dampf zu Ende war. Nach Verlauf von ungefähr 1 $^1/_2$ Minuten und in einer Höhe, welche ich zwischen 80 bis 100 Fuß[2]) schätze, hörten die Schrauben auf zu rotieren und die Maschine, ihrer Triebkraft beraubt, fiel zu meiner Überraschung nicht, sondern glitt so sanft und langsam nieder, daß sie auf das Wasser ohne jeden Stoß aufsetzte und sofort mit ihr ein neuer Versuch gemacht werden konnte. Der zweite Versuch, welcher auch sofort folgte, verlief in jeder Hinsicht wie der erste, mit Ausnahme, daß die Flugbahn eine andere war. Der Apparat stieg wieder in der Richtung gegen den Wind auf, bewegte sich dann

---

1) = 90 Meter.
2) = 24 bis 30 Meter.

Digitized by Google

stabil und kontinuierlich in großen Kurven, begleitet von einer Erhebung und einer seitlichen Vorwärtsbewegung.... Als der Dampf ausgegangen war, wiederholte sich derselbe Vorgang wie beim ersten Versuch und der Apparat setzte sich langsam und leicht auf das Wasser. Er flog so hoch, daß er sich 20 bis 30 Fuß über den Wipfeln der Bäume bewegte und erreichte das Wasser in 1 Minute 31 Sekunden, gerechnet vom Zeitpunkte des Auffluges, in einer Entfernung von über 900 Fuß[1]) vom Ablaßpunkte." Bell schätzt die wirkliche Flugstrecke über 3000 Fuß[2]) und die Geschwindigkeit auf 20—25 Meilen.[3])

Am 28. November desselben Jahres gelang mit dem Aerodrom Nr. 6 ein Flug von $1^3/_4$ Minuten Dauer und über $^3/_4$ englische Meilen (1200 Meter) Länge.

Auf Grund der Erfahrungen, die Langley durch die Versuche mit seinen großen Modellen gesammelt hatte, wagte er sich an den Bau eines Drachenfliegers in natürlicher Größe, der wenigstens einen Menschen tragen sollte. Der Apparat stellt eine geometrisch ähnliche Vergrößerung des Aerodrommodelles dar. Einschließlich ein Mann Besatzung wog der Langleysche Drachenflieger 366 Kilogramm. Die Tragfläche hatte ein Areal von 97 Quadratmeter. Die Antriebskraft wurde von einem Fünfzylinderbenzinmotor geliefert, der 52 Pferdekräfte leistete. Ohne Kühlwasser und Feuerung wog der Motor rund 1 Kilogramm; komplett ausgerüstet blieb sein Gewicht unter $2^1/_4$ Kilogramm pro Pferdekraft. Der Motor zeichnete sich, wie man sieht, durch außerordentliche Leichtigkeit aus. Am 8. Oktober 1903 wurde der erste Versuch mit dem bemannten Apparat gemacht. Das Flugschiff verlor kurz nach dem Ablassen von der Plattform das Gleichgewicht und stürzte 30 Meter vom Ablaßorte in den Potomacfluß. Beim Herausfischen aus dem Wasser erlitt der Apparat schwere Beschädigungen, bloß der Motor blieb intakt. Der kühne Führer des Fahrzeuges, Manley, kam mit heiler Haut davon. Der Unfall oder, besser gesagt, der ungünstige Ausgang des ersten Versuches, bildet freilich kein Argument gegen die tatsächliche Flugfähigkeit des Langleyschen Drachenfliegers. Es hat aber wie wenige Jahre vorher der Untergang des Kressschen Drachenfliegers sehr deprimierend gewirkt und die Geldgeber abgeschreckt, neue Mittel für die Fortführung der Versuche zu bewilligen. Es ist dies außerordentlich bedauerlich, um so mehr, als die Flugfähigkeit des Langleyschen Drachenfliegers wohl ganz außer Zweifel stand. Das spezifische Apparatgewicht, das ist das Gewicht pro Pferdekraft der Motorleistung, betrug weniger als 7 Kilogramm, die spezifische Tragfläche, das ist die auf ein Kilogramm des vollbelasteten Apparates entfallende Tragfläche, war nahezu gleich 0·3 Quadratmeter und die spezifische Flächenbelastung, das ist die Anzahl der auf 1 Quadratmeter Tragfläche entfallenden Kilogramm vom ganzen Apparatgewichte, war kleiner als 4 Kilogramm. Zum Vergleiche seien die entsprechenden Werte beim Kressschen Drachenflieger danebengestellt: Spezifisches Apparatgewicht 28 Kilo-

[1]) = 270 Meter.
[2]) = 900 Meter.
[3]) = 32—40 Kilometer.

Digitized by Google

gramm, spezifische Tragfläche 0·1 Quadratmeter und spezifische Flächenbelastung 9 Kilogramm. Beim Langleyschen Drachenflieger waren, wie man sieht, die charakteristischen Werte außerordentlich günstig.

Es war von Langley gewiß unvorsichtig, mit seinem Apparat sofort einen freien Flug ausführen zu lassen, ohne zuvor die Stabilisierung zu erproben. Die Versuche von Kress und Langley haben gezeigt, daß die seinerzeit so favorisierte Idee, die ersten Versuche über Wasser auszuführen, keineswegs so zweckmäßig ist, als dies auf den ersten Blick erscheinen möchte. Bei Versuchen über dem festen Boden kann wohl der Apparat, solange er nicht genügend ausbalanciert ist, kippen und Beschädigungen erleiden; ein Sturz ins Wasser ist aber, wie die Versuche von Kress und Langley bewiesen haben immer gleichbedeutend mit der Zerstörung des Apparates.

Langley gebührt der Ruhm, das erste große Modell eines Drachenfliegers in freier Atmosphäre zum Fluge gebracht zu haben. Da Langleys Aerodrom das Gewicht der größten fliegenden Vögel erreichte, bezeichneten die Aerodromversuche jedenfalls einen sehr erheblichen Fortschritt. Allzugroßen Wert darf man freilich Versuchen mit Modellen nicht beimessen, da bei der Ausführung im großen gewöhnlich ungeahnte Schwierigkeiten sich geltend machen. Dies hat sich auch schon bei den Versuchen von Kress gezeigt, dessen kleine, durch Gummischnüre angetriebene Modelle im geschlossenen Saal auch trefflich geflogen sind, während der große Apparat versagte. Von diesem Gesichtspunkte aus hat der Autor schon in seinen ersten flugtechnischen Publikationen vor der Überschätzung des Wertes fliegender Modelle im kleinen Maßstabe gewarnt und betont, daß man vom Modelle nicht auf die Ausführung im großen schließen dürfe. Modelle könnten höchstens als ein Mittel zur Unterstützung der Anschauung dienen, im übrigen stellen dieselben aber lediglich flugtechnische Spielereien dar. Ein Fortschritt sei bloß durch Versuche mit Apparaten möglich, die imstande wären, einen Menschen zu tragen. Dies war auch einer der Gründe, weshalb der Autor unablässig für die Fortführung flugtechnischer Studien nach dem Prinzip der Schule Lilienthals eintrat.

Wenn auch die Versuche mit dem großen Drachenflieger wegen deren vorzeitigem Abbruch kein positives Resultat ergeben haben, hat Langley doch um die Entwicklung der Flugtechnik sich große Verdienste erworben, und zwar namentlich durch seine grundlegenden Studien über den Luftwiderstand, die gegenwärtig noch immer das Fundament der theoretischen Flugtechnik bilden.

Außer dem genannten Hauptwerk wären von den zahlreichen Publikationen Langleys über Flugtechnik noch zu erwähnen: „Story of experiments in mechanical flight," Aeronautical Annual, 1897; „The Langley Aerodrome," Smithsonian Report 1900; „The flying machines," Mc. Clures Magazine, New York 1897; „The greatest flying creature," Smithsonian Report 1902.

Der Drachenflieger von Kress. Im Jahre 1898 baute Kress nach seinen „Modellen" einen großen Drachenflieger mit drei von vorn nach rückwärts aufsteigenden Drachenflächen. Das Gestell des Apparates

Digitized by Google

und der Tragflächenrahmen wurde aus Stahlrohren hergestellt. Die Tragflächen waren etwa achtmal so breit als lang, die Enden liefen spitz zu. Im Querschnitt, parallel zur Flugrichtung, waren die Tragflächen schwach nach oben gewölbt im Verhältnis von 1 : 12. Das Gestell des Apparates besteht aus einem 16 Meter langen Gerüste, das in der Mitte einen rechteckigen Querschnitt besitzt und nach vorne zu in einen spitzen Keil ausläuft. Die Seitenflächen des Gerüstes

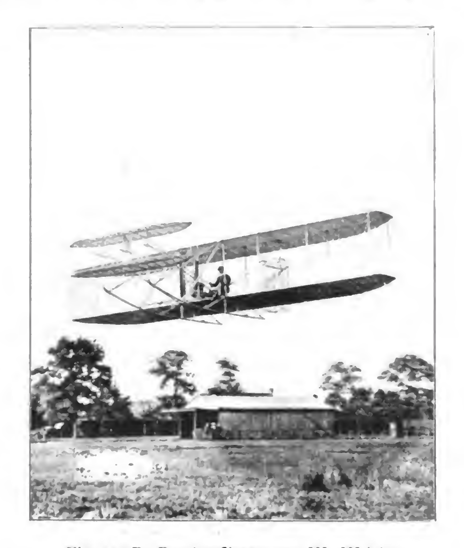


Fig. 152 D. Drachenflieger von W. Wright.
Im Fluge, schräg von vorne. Versuche in Hunaudières bei Le Mans. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris.)

sind mit Ballonstoff glatt überspannt. Die Unterfläche des Keilgerüstes schließt mit der Wagerechten einen Winkel von 11 Grad ein; sie soll gleichzeitig als Tragfläche zur Vermehrung des Auftriebes dienen. Der Versteifungsrahmen der Tragflächen besteht im Wesen aus einem parabolischen Träger ohne Schrägen und mit geradem Untergurt. Der Träger war mit dem Apparatgestelle durch zwei lotrechte und zwei schräge Zugstangen verbunden.

Zur weiteren Versteifung des Apparatgestelles und des Tragflächenrahmens dienten Spanndrähte aus Stahldraht. Über den Parabel-

Digitized by Google

träger wurden 10 aus geleimten Furnieren hergestellte Querrippen gelegt, und in einer Distanz, etwa gleich ein Drittel der Rippenlänge, am Träger fixiert. Die vorstehenden Vorderränder der Rippen wurden durch ein horizontales Rohr verbunden und durch zwei senkrechte Zugstangen gegen das Apparatgestell versteift. Die Hinterenden der Rippen blieben vollkommen frei und konnten sich deshalb unter dem Drucke der Luft nach oben aufbiegen. Über die Oberseite der Rippen wurde Ballonstoff gespannt.

Zum Vortrieb dienten zwei nebeneinander liegende gegenläufige Luftschrauben. Diese bestanden aus einem einfachen Stahlrohr, dessen Enden rechtwinkelig umgebogen sind. Vom Drehpunkte aus wird das Ende der umgebogenen Enden durch einen Draht verbunden und der so entstandene dreieckförmige Rahmen mit Stoff überspannt. Es ist die sogenannte Pénaudsche Fahnenschraube, von Kress als elastische Segelluftschraube bezeichnet. Der Drehpunkt der Schrauben lag etwa in der Höhe der zweiten Tragfläche. Die Kraftübertragung vom Motor auf die Schrauben erfolgte durch mehrere Kettenradübersetzungen. Am hinteren Ende des Apparates war ein horizontales und ein vertikales Steuer angebracht; das vertikale sollte zur Steuerung in horizontaler Richtung links und rechts, das horizontale zur Steuerung nach oben und unten dienen. Die drei Tragflächen samt dem Horizontalsteuer hatten eine Fläche von 94 Quadratmeter. Das Apparatgerüste war auf zwei aus Aluminiumblech hergestellten Schwimmern montiert, die 1·3 Meter voneinander abstanden. Die Kiele waren zugleich als Schlittenkufen ausgebildet. Das Gesamtgewicht des Apparates ohne Motor betrug 370 Kilogramm. Als motorische Kraft war ein Motor von 20 Pferdekräften vorgesehen, der bloß 200 Kilogramm wiegen sollte. Samt ein Mann Besatzung war das Gewicht des komplett ausgerüsteten Apparates auf 600—650 Kilogramm projektiert. Eine österreichische Firma machte sich anheischig, den verlangten Motor zu liefern, brachte diesen aber nicht zustande. Kress verschaffte sich schließlich einen Merzedes-Benzinmotor, dessen Gewicht bei einer Leistung von 30 Pferdekräften 240 Kilogramm wiegen sollte. Komplett ausgerüstet wog der Motor freilich um 140 Kilogramm mehr. Da mehrfache Versteifungen am Gerüste notwendig wurden, erhob sich schließlich das Gesamtgewicht des Apparates auf 850 Kilogramm. Die Wasserverdrängung der Schwimmer betrug nur 900 Kilogramm, diese tauchten deshalb, wenn der Apparat ins Wasser geschoben wurde, nahezu ganz ein. Kress meinte nämlich, es wäre am zweckmäßigsten, die Versuche über einer Wasserfläche anzustellen. Trotz der geringen Stabilität des überlasteten Apparates wagte sich Kress doch mehrmals mit ihm aufs Wasser, um die Wirkung der Schrauben und der Tragflächen auszuprobieren. Bei der vierten Fahrt kippte das Fahrzeug bei einer raschen Wendung seitlich um und versank in das 8 Meter tiefe Wasser. Bei der Bergung wurde der Apparat bis auf den Motor fast vollständig zerstört. Kress baute hierauf einen zweiten Apparat, der dem Motor angepaßt sein sollte. Das Keilgerüste wurde verlängert und noch eine vierte Tragfläche hinzugefügt. Das Schlittenboot war als flachgehendes Doppelkielboot ausgebildet und 9 Meter lang. Im Sommer 1902 war der neue Apparat bis auf die Bespannung der Tragflächen

Digitized by Google

fertig. Wegen Erschöpfung des Baufonds konnten die Versuche nicht fortgeführt werden.

Die Versuche mit dem Kressschen Drachenflieger haben seinerzeit wohl großes Aufsehen erregt und gewiß außerordentlich anregend gewirkt. Ein positives Ergebnis haben sie nicht gezeitigt. Es muß als außerordentlich bedauerlich bezeichnet werden, daß Kress bei seinen Versuchen keine einzige der für die Charakterisierung ballonfreier Flugmaschinen in Betracht kommenden fundamentalen Größen gemessen hat. Es wurde der Schraubenzug bei verschiedenen Motorleistungen weder in der Ruhe noch bei der Bewegung des Apparates bestimmt, es wurde unterlassen, den Auftrieb der Drachenflächen und die Geschwindigkeit bei den Probefahrten zu messen, lauter grundlegende Größen, die dauernden Wert besitzen würden auch dann, wenn der Kresssche Drachenflieger sich gar nie als flugfähig erwiesen hätte. Alles dies unterblieb, obwohl Maxim

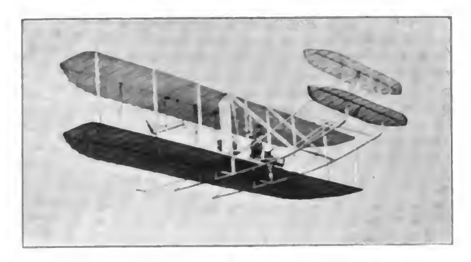


Fig. 152 E. Drachenflieger von W. Wright.
Im Fluge von der Seite. (Nach einer Originalphotographie von Branger, Paris.)

nahezu ein Jahrzehnt zuvor in klassischer Weise gezeigt hatte, wie flugtechnische Experimente durchgeführt werden sollten. Die Ausführung genau messender Versuche wäre schon aus dem Grunde höchst wünschenswert gewesen, um einige noch immer schwebende Streitfragen der definitiven Lösung zuzuführen.

Nach den Ergebnissen der mit größter Sorgfalt und im großen Maßstabe durchgeführten experimentellen Forschungen Maxims ergeben Schrauben mit starren, unbiegsamen Flügeln, die möglichst glatt und an den Rändern scharf zugespitzt sind, den größten Effekt. Kress behauptet auch auf Grund von Versuchen, die Fahnenschraube mit biegsamen Flügeln gebe bessere Resultate. Durch Messungen an seinem großen Apparate hätte Kress Gelegenheit gehabt, seine Ansicht durch einwandfreie Zahlenwerte zu bekräftigen. Ähnliches gilt bezüglich des Baues der Tragflächen und deren Anordnung. Maxim stellte durch messende Versuche fest, daß die Tragflächen möglichst steif und auf der Ober- und Unterfläche vollkommen glatt sein sollen; die Versteifungen wären alle in die Überspannung einzuschließen.

Digitized by Google

Kress behauptet dagegen, wieder bloß auf Grund von Versuchen mit ganz kleinen Modellen, elastische Tragflächen wären wirksamer, ohne jedoch messende Versuche darüber anzustellen. Solange keine exakten Messungen über die diesbezüglichen Verhältnisse bei dem Kressschen Drachenflieger vorliegen, wird man deshalb in allen Detailfragen sich an die Ergebnisse Maxims zu halten haben.

Der Kresssche Drachenflieger sollte sich bei einer Geschwindigkeit von 10 Meter aus dem Wasser erheben und eine Maximalgeschwindigkeit von mindestens 16 Meter in der Sekunde erreichen können. Da bezüglich des Schraubenzuges des Stirnwiderstandes des Apparatgerüstes und des Auftriebes der Tragflächen keine Messungen vorliegen, muß die Frage, ob der Kresssche Drachenflieger in der vorliegenden Ausführung überhaupt flugfähig gewesen wäre, unentschieden bleiben.

Aus den genannten Gründen konnten die Versuche mit dem Kressschen Drachenflieger leider auch keinen Einfluß auf die Entwicklung der Flugtechnik nehmen. Kress hat immerhin durch seine unermüdliche Agitation für seine Drachenfliegerkonstruktion in Österreich sehr anregend gewirkt und es ist hauptsächlich sein Verdienst, daß die Flugtechnik speziell im Wiener flugtechnischen Verein festen Fuß gefaßt hat. In späteren Jahren ist Kress freilich durch das starre Festhalten an seinen einmal gefaßten Ansichten, die vielfach autoritatives Ansehen genossen, vielfach zu einem Hemmschuh der Entwicklung geworden.

In seinem Buche „Aviatik" hat Kress das Projekt eines Drachenfliegers mit sechs Tragflächen aufgestellt, je drei sollten in derselben Horizontalebene hintereinander liegen. Die Schrauben sollten als Trieb- und auch als Hubschrauben Verwendung finden durch bloße Drehung der Achse um einen Winkel von 90 Graden. Das Gewicht des Apparates zählte bei 5 Mann Besatzung 1850 Kilogramm. Als Antriebskraft war ein Motor von 100 Pferdekräften vorgesehen. Die Gesamttragfläche ist auf 207 Quadratmeter berechnet. Die Schwebegeschwindigkeit soll 12 Meter in der Sekunde betragen. Das Projekt will wohl in der vorliegenden Form nicht ernst genommen werden. Schon die Anordnung der Tragflächen wäre unzweckmäßig, auch ist es unvorteilhaft, eine Schraube gleichzeitig als Trieb- und Hubschraube verwenden zu wollen. Dazu käme noch die kaum zu überwindende technische Schwierigkeit, die Schraubenachsen rasch genug um einen rechten Winkel umlegen zu können.

Kress hat die Ergebnisse seiner Studien mit kleinen Modellen in mehreren Aufsätzen in „der Zeitschrift für Luftschiffahrt" publiziert; ferner sind von ihm erschienen eine Broschüre „Aéroveloce", eine lenkbare Flugmaschine, Wien 1880, mit dem ersten Projekte seines Drachenfliegers. Über den großen Drachenflieger findet man mehrere Aufsätze in den „Illustrierten aeronautischen Mitteilungen" und in der „Allgemeinen Sport-Zeitung" Wien. Es sei auch auf meine in derselben Zeitschrift veröffentlichten kritischen Aufsätze verwiesen. Über die „Aviatik" von Kress wird im Anhang ausführlicher berichtet.

Die ersten freifliegenden, manntragenden Drachenflieger. Rüstet man einen Gleitflieger mit einem Propeller aus, der durch einen

Digitized by Google

Motor angetrieben wird, so geht er in den Motorgleitflieger, bzw. den Drachenflieger über. Ein prinzipieller Unterschied zwischen den drei Typen von Flugvehikeln besteht ersichtlich nicht. Der Gleitwinkel des Motorgleitfliegers ist geringer als jener des motorlosen Gleitfliegers, beim Drachenflieger verschwindet das Gefälle ganz. Ein Drachenflieger kann auch vom ebenen Boden auffliegen, wenn der Propeller imstande ist, dem Apparat die Schwebegeschwindigkeit zu erteilen. Indem die Amerikaner W. und O. Wright ihren Gleitflieger mit einem Schraubenpropeller ausrüsteten, gelang es ihnen, über den Motorgleitflieger zu



Fig. 152 F. Drachenflieger von W. Wright.
Apparat von vorne. Details der Steuerung. Am Steuer der Konstrukteur.

einem flugfähigen Drachenflieger zu gelangen. Wenn dies auch lange Zeit angezweifelt wurde, kann es heute doch als sicher angenommen werden, daß den Brüdern Wright der Ruhm gebührt, den ersten freien Flug mit einem Drachenflieger zustande gebracht zu haben. Am Kontinent gelang der erste Flug mit den Drachenfliegern von Ellehammer und Santos-Dumont. Am 23. Oktober 1906 legte Santos-Dumont die ersten 60 Meter im freien Fluge zurück, am 12. November flog er über 220 Meter in 21 Sekunden. Sein Apparat war nach der Type des Hargrave- oder Kastendrachens gebaut. Der Antrieb für die zweiflügelige, an der Rückseite der Tragfläche angebrachte Schraube, wurde von einem 50pferdigen Antoinette-Motor von Levavasseur geliefert. Die genauere Konstruktion erhellt aus den beigegebenen

Digitized by Google

Bildern und Schnitten. Der Apparat wog samt Motor 300 Kilogramm. Die Propulsionsschraube gab einen Zug von 150 Kilogramm.

Die Gleitflugversuche von Archedeacon und die Experimente von Santos-Dumont mit seinem Drachenflieger haben in Frankreich sehr anregend gewirkt. Die Brüder Voisin richteten bald eine flugtechnische Werkstätte ein, aus welcher eine Reihe von Apparaten hervorging, darunter auch jene, mit denen Farman und Delagrange ihre berühmten Rekordflüge ausführten. Farman gewann den Grand Prix d'aviation von 50.000 Franken durch einen Flug von einem Kilometer in geschlossener Bahn. In den Werkstätten von Levavasseur baute Hauptmann Ferber seinen Drachenflieger aus, mit dem er schon vor Jahren als Gleitflieger experimentiert hatte. Es gelang dem Kapitän, wiederholt längere Flüge zustande zu bringen.

Es ist hier nicht möglich, alle die zahlreichen Systeme der Drachenflieger, sowie die Chronik der Versuche im Detail zu geben. Die Konstruktion der wichtigsten Typen ist aus den Abbildungen ersichtlich. Zu den erfolgreichsten Systemen gehören jene von Voisin (Farman, Delagrange), Esnault-Pelterie, Ferber, Gastambide-Mangin, Blériot usf. Die Apparate von Farman, Delagrange und Ferber sind nach dem Duplexsystem gebaut: Zwei Tragflächen senkrecht übereinander, jene von Esnault-Pelterie, Gastambide-Mangin, Blériot sind Einflächer (Monoplane). Die größte Flugdauer und Flugweite haben von den französischen Aviateuren bisher Farman und Delagrange zu verzeichnen.

Der Amerikaner Wilbur Wright, über dessen Gleitflugversuche schon berichtet wurde, begann bei Le Mans am 8. August 1908 die Versuche mit einem Drachenflieger und es gelang ihm bald, die Leistungen der Franzosen erheblich zu übertreffen. In Amerika experimentierte sein Bruder Orville mit einem nach derselben Type gebauten Apparat. Am 16. September stürzte O. Wright infolge eines Schraubenbruches mit dem Apparat, wobei er schwer verletzt wurde und sein Begleiter Selfridge den Tod fand. Am 21. September gelang es W. Wright sich $1\,^1/_2$ Stunden in der Luft zu erhalten und eine Strecke von rund 65 Kilometer zurückzulegen.

Der Drachenflieger der Brüder Wright ist genau nach der Type ihrer Gleitflieger gebaut. Er hat zwei senkrecht übereinander liegende Tragflächen (Duplex). Die Dimensionen der Tragflächen sind: Länge (senkrecht zur Flugrichtung) 12 Meter, Breite (parallel zur Flugrichtung) 2 Meter. Distanz der beiden Tragflächen 1·80 Meter. Fläche beider Tragflächen 50 Quadratmeter.

An der Stirnseite des Apparates ist das horizontale Höhensteuer, das zugleich zur Stabilisierung dient, angebracht. Es besteht aus zwei übereinanderliegenden Flächen von zusammen drei Quadratmeter Inhalt. An der Rückseite ist eine vertikale Doppelfläche von 2·5 Quadratmeter Inhalt fixiert zur Kurserhaltung in der Horizontalen. Die Propulsion erfolgt durch zwei an der Rückseite zwischen den Tragflächen postierte, zweiflügelige Luftschrauben von 2·8 Meter Durchmesser. Die Antriebskraft wird durch einen 25pferdigen vierzylindrigen Benzinmotor mit Wasserkühlung geliefert. Die Kraftübertragung auf die Schrauben erfolgt durch Kettenräder,

Digitized by Google

deren Ketten in Rohre eingeschlossen sind. Die Tourenzahl der Schrauben ist relativ gering, sie erreicht bloß 450 in der Minute, während die Schrauben der französischen Aviatiker mit 1000 und mehr Touren laufen. Der Motor hat keinen Karburator, das Benzin wird direkt in die Zylinder eingespritzt. Komplett ausgerüstet, wiegt der Motor 90 Kilogramm, das gibt 3·6 Kilogramm pro Pferdekraft.

Das Versteifungsgerüste des Apparates ist ganz aus Holz hergestellt. Mit ein Mann Besatzung erreicht der Wrightsche Drachenflieger ein Gewicht von 450 Kilogramm. Der Führer sitzt neben dem Motor und dirigiert mit der einen Hand das Höhensteuer, mit der andern das Seitensteuer. Die Seitensteuerung wird durch die Verdrehung der Tragflächen erzielt. Diese können durch Zugschnüre so tordiert werden, daß das eine Ende der Flächen einen größeren Winkel mit dem Horizonte bildet als das andere. Dadurch wird auch der Winddruck gegen das stärker aufgedrehte Ende größer und der Apparat dreht sich nach dieser Seite. Der Abflug erfolgt in der Weise, daß der Apparat auf eine etwa 20 Meter lange Schiene gestellt wird und durch ein Seil, welches längs der Oberseite der Schiene, dann über eine Rolle und längs der Unterseite der Schiene zu einer zweiten Rolle läuft von dort über eine dritte Rolle, die auf einem etwa 10 Meter hohen Holzgerüst fixiert ist. Das Ende des Seiles trägt ein gegen 1000 Kilogramm schweres Gewicht. Der Apparat wird auf die Schiene gestellt und das Gewicht aufgezogen. Ein Druck gegen eine Sperrklinke gibt den Apparat frei. Durch das fallende Gewicht erhält der Apparat die erforderliche Schwebegeschwindigkeit und hebt sich am Ende der Schiene automatisch ab, worauf der freie Flug beginnt.

Auch in anderen Ländern wird jetzt eifrig an der Vervollkommnung des Drachenfliegers gearbeitet. Es ist nicht möglich, in dem engen Rahmen dieses Buches, das ja nur ein „Leitfaden" sein will, auf alle die einzelnen Versuche und die verschiedenen Konstruktionen näher einzugehen. Wer sich dafür speziell interessiert, muß auf die aeronautischen Zeitschriften, insbesondere auf die Deutsche Zeitschrift für Luftschiffahrt („Illustrierte Aeronautische Mitteilungen") von Moedebeck und l'Aérophile verwiesen werden. Beide erscheinen derzeit vierzehntägig in Berlin, bzw. in Paris.

Technik der Drachenflieger.

1. Allgemeine Architektonik. Charakteristik der Tragfläche.

Die Tragfläche ist entweder einheitlich oder in zwei oder mehrere Teile aufgelöst. Wenn die Teilflächen im Verhältnis zur ganzen Tragfläche sehr klein werden, nennen wir sie Einheiten oder Moneren. Die einzelnen Teilflächen liegen in derselben Ebene hintereinander oder sie sind in verschiedenen Ebenen angeordnet, u. zw. senkrecht übereinander oder auch stufenförmig. Die Stufen können von vorn nach hinten aufsteigen oder abfallen. Liegen alle Teilflächen in derselben horizontalen Ebene, so nennen wir diese Position die planale Anordnung. Drachenflieger mit einer einzigen Tragfläche heißen Mono-

Digitized by Google

plane, bei zwei Teilflächen haben wir einen Biplan, bei drei Teilflächen einen Triplan und bei sehr zahlreichen Teilflächen in planaler Anordnung nennen wir den Apparat einen Polyplan. Liegen die Teilflächen übereinander, so haben wir die plexale Anordnung vor uns, und wir nennen einen Drachenflieger mit zwei übereinanderliegenden Teilflächen einen Duplex, bei drei Flächen einen Triplex und bei sehr vielen Einheiten einen Polyplex. Auf- oder absteigende Teilflächen heißen klinal angeordnet, u. zw. asklinal bei aufsteigenden und desklinal bei absteigenden Stufen, bezogen auf die Stirnseite des Apparates. Ein Drachenflieger mit zwei Teilflächen in klinaler Anordnung heißt ein Biklin, mit drei Teilflächen Triklin usf. Einen Biklin mit aufsteigenden Stufen werden wir einen Biasklin, mit absteigenden Stufen einen Bidesklin nennen. Alle Tragflächen sind so konstruiert, daß die durch den Schwerpunkt des Apparates, parallel zur Flugrichtung, gelegte Ebene eine Symmetrieebene bildet. Jede Tragfläche läßt sich deshalb in zwei symmetrische Hälften zerlegen. Wenn von der Tragfläche ohne nähere Beifügung die Rede ist, wird



Fig. 153. Anordnung der Tragflächen.

Planale Anordnung der Tragflächen: Alle Tragflächen in derselben Ebene hintereinander, *a* Einflächer (Monoplan), *b* Zweiflächer (Biplan), *c* Dreiflächer (Triplan), *d* Vierflächer (Polyplan).

immer die Tragfläche als Ganzes gemeint und nicht etwa nur eine von den beiden symmetrischen Hälften der Tragfläche allein. Man darf nicht von den „Flügeln“ einer Drachenfläche sprechen. Die Bezeichnung Flügel oder Schwingen ist ausschließlich für die bewegten Flächen der Flügelflieger reserviert, ebenso der Name Tragflächen für die unbewegten, Auftrieb liefernden, Organe der Drachenflieger.

Zur Ckarakterisierung der Form einer Tragfläche dienen Schnitte parallel und senkrecht zur Flugrichtung. Schnitte durch die Tragfläche, parallel zur Flugrichtung, heißen Longitudinalschnitte, solche senkrecht dazu Transversalschnitte. Die Tragflächen sind entweder in der Weise hergestellt, daß das Bespannungsmaterial bloß einseitig über einen Versteifungsrahmen gelegt wird oder es werden beide Seiten des Rahmens bespannt. Tragflächen dieser Art heißen Flächenkörper. Nach der Form der Longitudinalschnitte unterscheidet man ebene und gewölbte Tragflächen. Der Sinn der Wölbung wird immer auf die Seite bezogen, von der man spricht. Ist die Unterseite nach oben gewölbt, so heißt sie konkav; bezogen auf die Oberseite ist die Wölbung konvex und umgekehrt. Der Wölbungsgrad wird in der Weise angegeben, daß man die beiden Endpunkte des Schnittes durch eine Gerade, die Sehne, verbindet, auf diese eine Normale errichtet und das Verhältnis der längsten Normalhöhe, der Pfeilhöhe, zur Sehne angibt. Ist die Pfeilhöhe z. B. gleich dem 12ten Teil der Sehne, so

Digitized by Google

ist der Wölbungsgrad 1 : 12. Bei einem Flächenkörper ist der Wölbungsgrad der beiden Begrenzungsflächen verschieden. Die eine der Begrenzungsflächen kann auch den Wölbungsgrad Null haben, d. i. eben sein. Die Kurve der Wölbung kann ein Teil eines Kreisbogens, einer Parabel oder sonst einer krummen Linie sein.

Die Wölbung kann gleichförmig oder ungleichförmig sein; im ersten Falle bildet die größte Pfeilhöhe eine Symmetrale der Sehne, im zweiten Falle liegt die größte Pfeilhöhe gewöhnlich vor der Sehnensymmetrale. Auch doppelt gewölbte Tragflächen werden verwendet. In diesem Falle ist die Wölbung im vorderen Teile der Tragfläche konkav, geht dann gegen den Rückrand zu allmählich in konvexe Krümmung über; solche Flächen heißen konkavkonvex. Die Tragfläche kann so gebaut sein, daß die Longitudinalschnitte oder Profile alle kongruent und ähnlich oder daß sie bloß ähnlich sind; sie

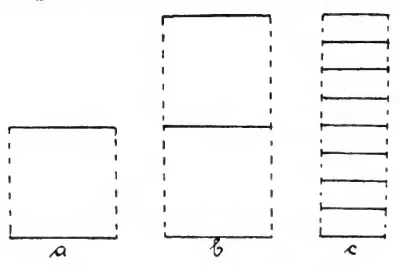


Fig. 154. Anordnung der Tragflächen.
Plexale Anordnung der Tragflächen: Alle Tragflächen senkrecht übereinander gestellt, *a* Doppeldecker (Duplex), *b* Dreidecker (Triplex), *c* Vieldecker (Polyplex).

können sich aber auch in Größe und Form nach einem bestimmten Gesetze ändern. Zur vollständigen Charakterisierung der Form der Tragfläche muß in diesem Falle das Gesetz der Änderung von Form und Dimension gegeben sein.

In der Terminologie der Franzosen ist Aéroplane gleichbedeutend mit Drachenflieger. Die Amerikaner bezeichnen einen Drachenflieger mit gewölbten Tragflächen auch als Aerokurve.

Die Transversalschnitte der Tragfläche bilden immer um die Medianebene symmetrische Linien. Sie stellen eine einfache Gerade dar, bestehen aus mehreren gebrochenen geraden Linien oder aus Kurven. Liegen die äußeren Endpunkte der Schnittlinie höher als der Mittelpunkt, so heißt die Tragfläche, unabhängig von der sonstigen Form der Schnittlinie, gekielt, sie hat einen Kiel. Bilden die Schnittlinien in der Mitte einen Winkel mit dem Scheitel nach unten, so ist die Kielung scharf; ist der Mittelteil eben und sind nur die äußeren Teile der Schnittlinie aufgedreht, so ist die Kielung flach; im ersten Falle sprechen wir von einem Scharfkiel, im zweiten von einem

Digitized by Google

Flachkiel. Ist die Schnittlinie eine kontinuierlich gekrümmte Linie, so haben wir einen Rundkiel. Die aufgedrehten Flächenteile, welche die Kielung bedingen, heißen Kielflächen. Stehen die Kielflächen senkrecht, so werden sie zu Bordwänden. Wenn die Transversalschnitte nicht alle kongruent und ähnlich sind, muß das Gesetz der Änderung von Form und Größe gegeben sein. Durch die Gesamtheit der Longitudinal- und Transversalschnitte wird die Tragfläche nach Form und Größe vollständig charakterisiert.

Die äußere Umrißform der Tragflächen ist eine sehr mannigfaltige. Nahezu alle geometrischen Flächenformen, Rechteck, Dreieck, Kreis, Kreissegment, Halbkreis, Deltoid, Vieleck usw. wurden als Tragflächen vorgeschlagen und zum größten Teil auch erprobt. Am zweckmäßig-

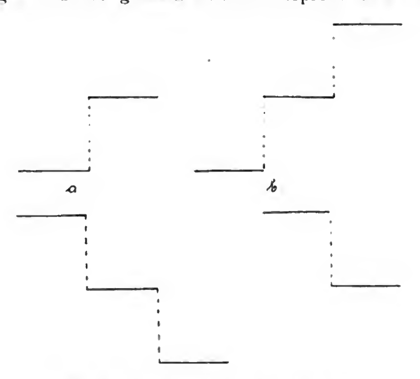


Fig. 155. Anordnung der Tragflächen.

Klinale Anordnung der Tragflächen: Alle Tragflächen stufenförmig hintereinander. Von vorne nach hinten aufsteigende Stufen: asklinale Anordnung; fallende Stufen: desklinal; *a* Biasklin, *b* Triasklin, *c* Bidesklin, *d* Tridesklin. — Flugrichtung von rechts nach links.

sten haben sich die in transversaler Richtung langgestreckten Vogelflügelartigen Formen erwiesen. Auch in der Gestalt der Vogelflügel zeigt sich indes eine große Mannigfaltigkeit. Es gibt Vögel mit Flügeln in der Form eines langgestreckten Rechteckes, andere haben wieder nahezu dreieckige oder sichelförmige Gestalt.

Ist die Dimension der Tragfläche senkrecht zur Flugrichtung größer als parallel zu dieser, so ist die Tragfläche longitudinal exponiert, im umgekehrten Falle ist die Exponierung eine transversale. Bei Tragflächen mit ebener Unterfläche ist der Einfalls-, Schiefstellungswinkel oder kurz die Schiefe genannt, der Winkel eines Longitudinalschnittes mit der Horizontalebene. Bei konkaven Tragflächen ist die Schiefe gleich dem Winkel der Sehne mit der Horizontalen.

Digitized by Google

2. Antrieb, Propulsion der Drachenflieger.

Als Propeller kommen bei Drachenfliegern in Anwendung: Luftschrauben, Flügel-, Rad- und Reaktionspropeller. Die Propeller sind an der Vorderseite der Tragfläche, d. i. frontal, an der Rückseite, tergal, zwischen zwei Teilflächen: medial angeordnet. Sie liegen in der Tragfläche selbst, intral, oder außerhalb dieser, d. i. extral; sie können weiters erheblich unterhalb der Tragfläche, subordiniert, oder in nahe der gleichen Ebene mit den Tragflächen, koordiniert, gelagert sein. Luftschrauben in frontaler Anordnung heißen auch Zugschrauben, in tergaler Anordnung Triebschrauben. Kommen zwei Schrauben in Anwendung, so sind die entweder an derselben longitudinal liegenden Achse hintereinander angeordnet, koachsial oder an verschiedenen neben- oder übereinanderliegenden Achsen, disachsial. Zwei Schrauben, die nahe hintereinander an derselben Achse sich befinden, heißen ein Zwilling; wenn sie an verschiedenen Achsen sitzen, die in derselben Transversalebene liegen, wollen wir sie ein Paar nennen. Eine einzelne

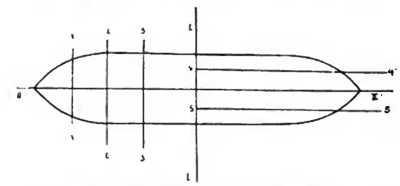


Fig. 156. Form der Tragflächen.

Schnitte zur Charakterisierung der Form der Tragfläche. Longitudinalschnitte, parallel zur Flugrichtung, I I', 1 1', 2 2', 3 3'. Transversalschnitte, senkrecht zur Flugrichtung, II II', 4 4', 5 5'.

Schraube, die immer in der Longitudinalebene gelagert sein muß, heiße ein Einsiedler. Ein Zwilling mit einer frontal und einer tergal angeordneten Schraube soll ein getrennter Zwilling genannt werden. Auch bezüglich der Anordnung der Flügel und Radpropeller gelten analoge Bezeichnungen wie für die Schrauben. Flügelpropeller sind entweder auf der longitudinalen Hauptachse oder auf Nebenachsen angeordnet. Ist nur ein einziges Flügelpaar vorhanden, so heiße die erste Anordnung longitudinal, die zweite lateral; im letzteren Falle ist je ein Flügel seitlich von der Tragfläche angebracht. Bei Radpropellern liegt die Rotationsachse horizontal und transversal; es gibt Einrad- und Zweiradpropeller. Die Anordnung der Zweiräder ist immer paarig.

Schraubenpropeller. Nach der Zahl der Flügel unterscheidet man zwei-, drei-, vier- und mehrflügelige Schrauben. Es sind Konstruktionen bis zu neun Flügeln bekannt. Kleine Schrauben geben die günstigste Wirkung bei 2 Flügeln, bei recht großen Schrauben kann man auch drei bis vier Flügel anwenden. In der Form der Schraubenflügel herrscht die größte Mannigfaltigkeit; sie sind etweder lang und

Digitized by Google

schmal oder kurz und breit. Die Flügel nehmen gegen die Enden an Breite zu oder sie werden gegen die Spitzen zu schmäler. Die Ebene senkrecht auf die Rotationsachse heißt die Rotationsebene. Die Schraubenflügel stellen entweder Teile einer wirklichen Schraubenfläche dar oder sie bilden irgend eine andere krumme Fläche. Auch ganz ebene Schraubenflächen hat man; diese stehen schräg zur Rotationsebene, bei manchen Konstruktionen auch senkrecht dazu. Im Gegensatze zu den eigentlichen Schrauben, deren Flügelfläche eine wirkliche Schraubenfläche darstellt, sollen alle anderen Typen als Pseudoschrauben bezeichnet werden. Es gibt Schrauben mit völlig starren Flügelflächen und solche mit biegsamen, elastischen Flügeln. Auch Schrauben mit ganz weichen Flügeln, ohne jede Versteifung wurden gebaut; es sind dies die sogenannten Zentrifugalschrauben, deren Flügel bei der raschen Rotation infolge der Wirkung der Zentrifugalkraft ihre Steifigkeit und Form gewinnen. Die Flügel der elastischen Schrauben haben entweder im Ruhezustande eine fixe schraubenförmige Form, die sich bei der Rotation nur ändert oder sie bestehen im Ruhezustande bloß aus einer auf der Rotationsebene senkrechten ebenen Fläche mit steifem Vorderrand und losem Hinterrand. Diese Schraubenform heißt die Pénaud- oder Fahnenschraube; erst unter der Einwirkung



Fig. 157. Form der Tragflächen.

Bestimmung des Wölbungsgrades eines Tragflächenschnittes acb. Sehne ab, größte Pfeilhöhe cd, Wölbungsgrad $cd:ab$. Ist cd z. B. $^1/_{12}$ von ab, so ist der Wölbungsgrad $= {}^1/_{12}$.

des Luftdruckes, nehmen die Schraubenflügel bei ihr die windschief verdrehte Form an, die zur Erzeugung eines Vortriebes nötig ist. Bei kleinen Beanspruchungen und geringen Umlaufsgeschwindigkeiten geben derartige Fahnenschrauben ganz gute Effekte, für größere Leistungen und hohe Umlaufsgeschwindigkeiten eignen sich nur sorgfältig gebaute starre Schrauben. Man kann auch zwei oder mehrere Schrauben an einer gemeinsamen Achse anbringen. Ein System von zwei derartigen Verbundschrauben heißt Duplexschraube.

Die eigentlichen Schrauben stellen Teile einer wirklichen Schraubenfläche dar. Jeder Flügel der Schraube gehört einer besonderen Schraubenfläche an. Wickelt man ein rechtwinkeliges Dreieck auf den Mantel eines geraden Kreiszylinders so auf, daß die eine Kathete in der Ebene der Grundfläche liegt, so bildet die Hypotenuse eine Schraubenlinie. Die Länge der zweiten Kathete ist gleich der Steigung der Schraube. Bewegt sich eine, zur Zylinderachse senkrecht stehende Gerade, zu sich selbst parallel, längs einer Schraubenlinie, so entsteht eine rechtwinkelige Schraubenfläche; ist die erzeugende Gerade zur Achse schief gestellt, so bildet sie eine schiefwinkelige Schraubenfläche. Man verwendet rechts- und linksgängige Schrauben. Rechtsgängig ist eine Schraube, welche in der Bewegungsrichtung gesehen, durch eine Drehung im Sinne des Uhrzeigers sich

Digitized by Google

vorwärts schraubt. Bei linksgängigen Schrauben ist der Drehungssinn umgekehrt. Bei Schraubenzwillingen und Schraubenpaaren ist die eine immer rechts-, die andere linksgängig. Als Steigungswinkel bezeichnet man den Winkel, den die Hypotenuse des Erzeugungsdreieckes mit der Kathete parallel der Grundfläche des Zylinders bildet. Es gibt Schrauben mit konstantem und solche mit veränderlichem Steigungswinkel. Die Kante der Schraubenflügel, welche in der Bewegungsrichtung vorangeht, heißt die eintretende, die andere die austretende. Die Steigung ist achsial veränderlich, wenn die eintretenden und austretenden Kanten verschiedene Steigung haben. Radial ist die Steigung veränderlich, wenn die Schnittlinien der Schraubenfläche mit koachsialen Zylindermantelflächen verschiedene Steigung besitzen.

Langley leitet aus seinen Schraubenversuchen folgende wesentliche Ergebnisse ab. Der größte Effekt wird mit einer geringen Anzahl von Blättern erzielt. Ein Propeller mit zwei Blättern gibt nahezu oder genau so gute Resultate, als einer mit einer größeren Anzahl. Es besteht in dieser Beziehung ein auffallender Unterschied

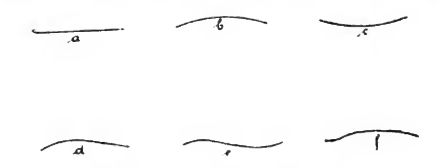


Fig. 158. Form der Tragflächen.

Formen der Longitudinalschnitte von Tragflächen; *a* ebener (planaler) Schnitt, *b* konkav, *c* konvex, *d* parabolisch, *e* konkav-konvex, *f* konvex-konkav.

zwischen dem Bau einer möglichst wirkungsvollen Windmühle (Windrad) und einer Schraube. Es ist zu beachten, daß das Windrad und der bewegliche Propeller nicht umkehrbare Maschinen darstellen, wie es auf den ersten Blick scheint. Der stationäre Propeller, der Ventilator, stellt vielmehr die wirkliche Umkehrung des Windrades dar und für diese beiden gilt wirklich der Satz, daß die wirkungsvollste Type der einen Art auch die wirkungsvollste Form der anderen Art darstellt. Der Wirkungsgrad eines Ventilators von gegebenem Radius wird ausgedrückt in Teilen des Luftquantums, das in der Zeiteinheit für eine Einheit der aufgewendeten Arbeit geliefert wird; jener eines Windrades kann ausgedrückt werden in Teilen der geleisteten Arbeit, u. zw. durch die Einheit der Luftmasse, welche längs des Radius der Arme passiert. Die Luft, welche durch das Rad tritt, ohne gegen dessen Arme einen Druck auszuüben und ihre Arbeit abzugeben, bedingt eine Herabminderung des erreichbaren Nutzeffektes.

Aus diesem Grunde ist bei den bekannten amerikanischen Windrädern der ganze Umfang des Rades mit Druckblättern überkleidet. Beim Propeller muß der Wirkungsgrad, d. i. das Verhältnis der Nutz-

Digitized by Google

arbeit zur aufgewendeten Gesamtarbeit ganz anders definiert werden. Hier stellt die Nutzarbeit (geleistet in der Zeiteinheit) das Produkt aus dem überwundenen Widerstand und der zurückgelegten Strecke dar. Es besteht demnach ein wesentlicher Unterschied zwischen der Wirkung eines Propellers und eines Ventilators. Statt möglichst viel Luft in Bewegung zu setzen, wie dies beim Ventilator gewünscht wird, ist jener Propeller am wirkungsvollsten, der möglichst wenig Luft in Bewegung setzt. Es besteht derselbe Unterschied wie zwischen einer Schraube, die in der Flüssigkeit arbeitet, ohne diese überhaupt in Bewegung zu setzen, wie wenn sie in einer festen Schraubenmutter liefe und einer solchen, welche die Flüssigkeit in Bewegung setzt und sie nach rückwärts wirft. In der Marinetechnik bezeichnet man diesen durch die Schrauben bei ihrer Vorwärtsbewegung erzeugten Rückstrom den Slip (Rücklauf). Die Erzeugung desselben bedingt einen Energieverlust, da die ganze im Slip oder Rückstrom steckende kinetische

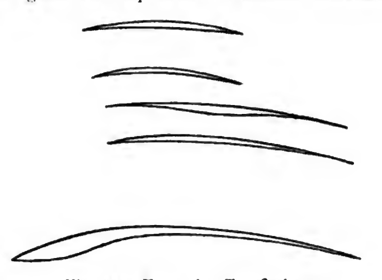


Fig. 159. Form der Tragflächen.

Formen von Longitudinalschnitten von Flächenkörpern nach Phillips. — Flugrichtung von rechts nach links.

oder Bewegungsenergie nutzlos verloren geht. Es muß deshalb darauf hingearbeitet werden, den Rücklauf auf den kleinstmöglichen Wert herabzudrücken, da ja der Zweck des Propellers darin liegt, sich selbst vorwärts, nicht aber die Luft nach hinten zu treiben. Es ist nun leicht ersichtlich, weshalb Propeller mit wenigen Blättern wirkungsvoller sind als solche mit vielen. Die zahlreichen Blätter, die rasch aufeinanderfolgen, treffen auf Luft, deren Trägheit bereits aufgehoben wurde durch die vorausgehenden Blätter und deshalb erfahren sie nicht denselben Widerstand wie diese und sie liefern einen verhältnismäßig geringen Vortrieb. Besitzt der Propeller bloß zwei Blätter, so gleitet jedes ständig über neue Luftmassen und zieht aus der Trägheit dieser frischen Luft das Maximum an Vortriebskraft. Je größer die Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung wird, um so geringer wird im Verhältnis der Rücklauf und folglich um so größer der Wirkungsgrad des Propellers. Der wirkungsvollste Propeller ist theoretisch der, welcher durch die Luft gleitet wie eine Schraube in einer unnachgiebigen,

Digitized by Google

reibungslosen Führung und eine Reaktion erzeugt, ohne die Luft überhaupt in Bewegung zu versetzen.

Langley hat mit einem speziell zu diesem Zweck konstruierten Apparat, den er Dynameterchronograph nennt, ausgedehnte Untersuchungen angestellt über die Translationsgeschwindigkeiten, bei denen das Maximum des Wirkungsgrades erreicht wird, bei verschiedenen Schiefstellungswinkeln der Schraubenblätter, sowie auch über die besten Formen und Dimensionen der Blätter. Die Details dieser Versuche versprach Langley in einer späteren Publikation zu veröffentlichen. Da Langley seitdem gestorben ist, scheint die wertvolle Arbeit für die Allgemeinheit leider verloren zu sein.

3. Konstruktion der Tragflächen und des Apparatrumpfes.

Die Tragflächen sind entweder ganz starr oder halbstarr, mit festem Vorderrand und biegsamen elastischen Hinterrand. Alle Tragflächen besitzen ein Versteifungsgerüst. Dieses wird aus Holz oder

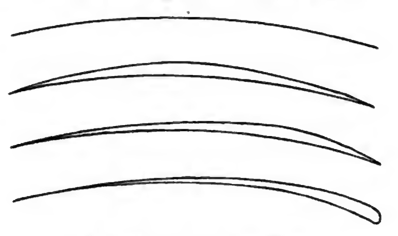


Fig. 160. Form der Tragflächen.
Formen von Longitudinalschnitten von Flächenkörpern nach Lilienthal. — Flugrichtung von links nach rechts.

aus Metall hergestellt. Von Holzsorten werden verwendet: Weiden, Tannen, Pappeln, Bambus-, Tonkingrohre und andere. Weidenruten, Bambus- und Tonkingrohre werden in ihrer natürlichen Form belassen oder zuvor bearbeitet. Durch Entbasten und Ausbohren mit einem Zentralbohrer kann man aus Weidenruten und Stäben rohrförmige Versteifungselemente für Rippen u. dgl. herstellen, die von Lilienthal als Baumaterial für seine Gleitmaschinen sehr geschätzt wurden.

Aus Bambusstäben kann man, nach dem Verfahren von Wels, durch Aussägen von Stäbchen, Dreieck- oder Viereckform in beliebigen Querschnitten herstellen. Man leimt die Stäbchen der ganzen Länge nach zusammen und umwickelt sie in Distanzen von rund 20 Zentimetern mit einem gepechten Seidenfaden zehnmal und öfter, sodaß die einzelnen Ringe aneinanderschließen und bindet die Enden zu einem festen Knoten. Auf diese Weise erhält man Stäbe, die sich durch außerordentlich große Festigkeit, Zähigkeit und Elastizität aus-

Digitized by Google

zeichnen. Die Stäbe lassen sich auch, längere Zeit im Wasserdampf erhitzt, in jede beliebige Form biegen. Ein anscheinend noch zweckmäßigeres Baumaterial bilden Stäbe aus Tonkingrohren. Diese werden in ihrer natürlichen Form belassen und nur in der oben angegebenen Weise abgebunden. So hergerichtete Stäbe besitzen eine ganz unglaubliche Druck-, Biegungs- und Torsionsfestigkeit. Ein ausgezeichnetes Baumaterial dürften für gewisse Konstruktionsteile die nach dem Verfahren von Lourié (Wien) aus feinen, im Dampf gepreßten, Holzfournieren hergestellten Platten darbieten. Statt in Plattenform können die Hölzer auch in beliebiger Form gepreßt werden.

Die zum Rahmenbau verwendeten Metalle sind Eisen und Aluminium. Beide kamen hauptsächlich in der Form von Rohren in Anwendung. Der Aufschwung der Fahrradindustrie hat den Anlaß gegeben zur Herstellung von gezogenen Stahlrohren, die sich durch außerordentliche Leichtigkeit und Festigkeit auszeichnen. Man erhält heute Rohre in allen Stärken und Längen fabriksmäßig, mit Wandstärken bis zu $^1/_2$ Millimeter. Aus derartigen Rohren lassen sich außer-

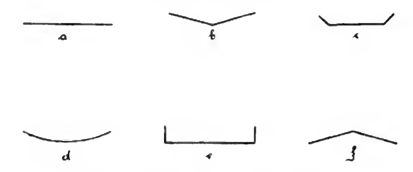


Fig. 161. Form der Tragflächen.

Formen der Transversalschnitte von Tragflächen; *a* ebener (planaler) Schnitt; *b*, *c*, *d*, *e* gekielte Tragflächen; *b* Scharfkiel, *c* Flachkiel, *d* Rundkiel, *e* Flachkiel mit Bordwänden, *f* Dach.

ordentlich leichte und feste Rahmen herstellen. Für Experimentierapparate, überhaupt alle Teile, welche Stößen ausgesetzt sind, sind Stahlrohre als Konstruktionsmaterial zunächst nicht zu empfehlen. Wegen ihrer außerordentlich geringen Wandstärke kann man die Rohre sehr leicht eindrücken. Eindrücke, Bullen in einem Rohre lassen sich nur schwer beseitigen, die Rohre knicken leicht ab. Für alle Teile, die Stößen ausgesetzt sein können, sind Tonkingrohre als Konstruktionsmaterial vorzuziehen. Andere Teile des Rahmens und des Rumpfgerüstes wird man aber wohl auch zweckmäßig aus Stahlrohren bauen können.

Man hat einmal von der Verwendung des Aluminiums als Baumaterial für Flugapparate große Vorteile erhofft, es hat sich aber gezeigt, daß, bezogen auf gleiches Gewicht, Stahl fester ist als Aluminium. Es ist also nicht möglich, durch Verwendung des Aluminiums allein eine leichtere Bauart zu erzielen. In gewisser Hinsicht bietet die Anwendung von Aluminium für Flugapparate sogar einen ausgesprochenen Nachteil. Wir haben gesehen, daß der Stirnwiderstand eine sehr erhebliche Rolle in der Flugtechnik spielt und daß die mög-

Digitized by Google

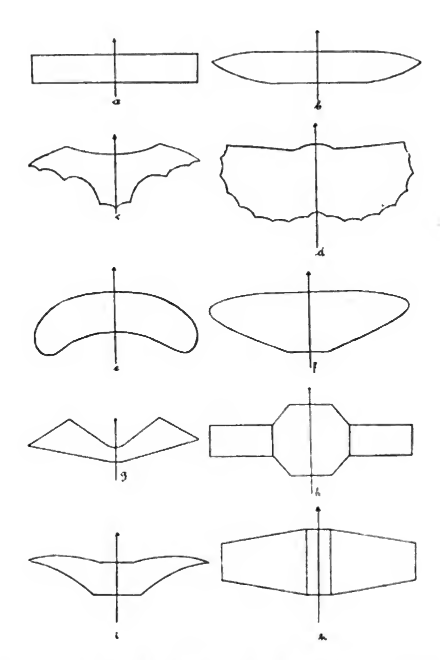


Fig. 162. Umrißformen von Tragflächen.

a Rechteckform (Chanute, Nimführ, Wright, Farman u. a.); *b* Rechteck mit zugespitzten Ecken (Lanzettform) (Pénaud, Kreß); *c* Fledermausflügelform (Ader); *d* Tragflächen von Lilienthal; *e* Zanoniaform (Wels); *f* Dreieckform (Pénaud-Gauchot); *g* Du Temple; *h* Tragflächen von Maxim; *i* Bazin; *k* Gastambide-Mangin.

lichste Verminderung des Stirnwiderstandes angestrebt werden muß. Aluminium hat ungefähr den dritten Teil des spezifischen Gewichtes von Stahl, auch die Festigkeitszahlen stehen in beiläufig demselben Verhältnisse. Daraus erhellt, daß ein Versteifungsgerüst aus Aluminium bei gleicher Festigkeit und gleichem Gewicht, rund das dreifache Volumen eines gleichen Stahlrahmens einnehmen muß. Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, wäre das Aluminium als Baumaterial, dem Stahl gegenüber sogar sehr erheblich im Nachteil. Wo das Volumen des Baumateriales, dessen Raumfüllung, keine Rolle spielt, wird man andererseits das Aluminium, beziehungsweise dessen Legierungen

Digitized by Google

(Magnalium u. a.) mit Vorteil überall dort an Stelle des Stahles verwenden können, wo es sich darum handelt, die Festigkeit des Materiales möglichst vollständig auszunützen. Man kann den Stahl wohl zu den feinsten Drähten ausziehen, aber man kann sein Volumen nicht beliebig vergrößern. Bei gewissen Konstruktionsteilen kann verlangt werden, daß sie nicht fester also auch nicht schwerer seien als nötig, trotzdem aber ein erhebliches Volumen besitzen. In allen diesen Fällen wird man dem Aluminium den Vorzug geben können. Der Konstrukteur wird sich stets vor Augen halten müssen, daß es ein in jedem Sinne bestes Baumaterial für den Apparat als Ganzes nicht gibt. Für gewisse Bestandteile wird dieses, für andere jenes sich am zweckmäßigsten erweisen.

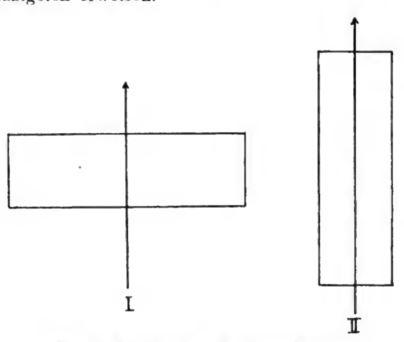


Fig. 163. Exposition der Tragflächen.

I. Longitudinale Exposition: Größte Längenausdehnung senkrecht zur Flugrichtung.
II. Transversale Exposition: Größte Längenausdehnung parallel zur Flugrichtung.

Im Bau des Rahmens der Tragfläche herrscht große Mannigfaltigkeit. Die Versteifungen der Tragfläche wollen wir einteilen in innere und äußere, grobe und feine. Zur feinen Versteifung gehören bloß die Spanndrähte aus Stahldraht; alle übrigen Versteifungen rechnen wir zur groben. Bei Tragflächen mit innerer Versteifung liegen sämtliche groben Versteifungen innerhalb der Bespannung. Bei Tragflächen mit äußerer Versteifung liegt ein Teil derselben auch außerhalb der Bespannung. Liegt die grobe Versteifung zum Teil innerhalb, zum Teil außerhalb der Bespannung, so heißt sie gemischt. Alle Tragflächenkonstruktionen lassen sich nun nach der Art der groben Versteifung in solche mit innerer, mit äußerer und mit gemischter Versteifung einteilen. Am gebräuchlichsten und bis in die neueste Zeit fast ausschließlich verwendet wurde die äußere Versteifung. Das Bespannungsmaterial wird bei ihr einseitig über den Rahmen gespannt. Die Versteifungsstangen, Rippen und Träger stehen auf der unbespannten Seite frei vor. Der Rahmen besteht in diesem Falle gewöhnlich aus

Digitized by Google

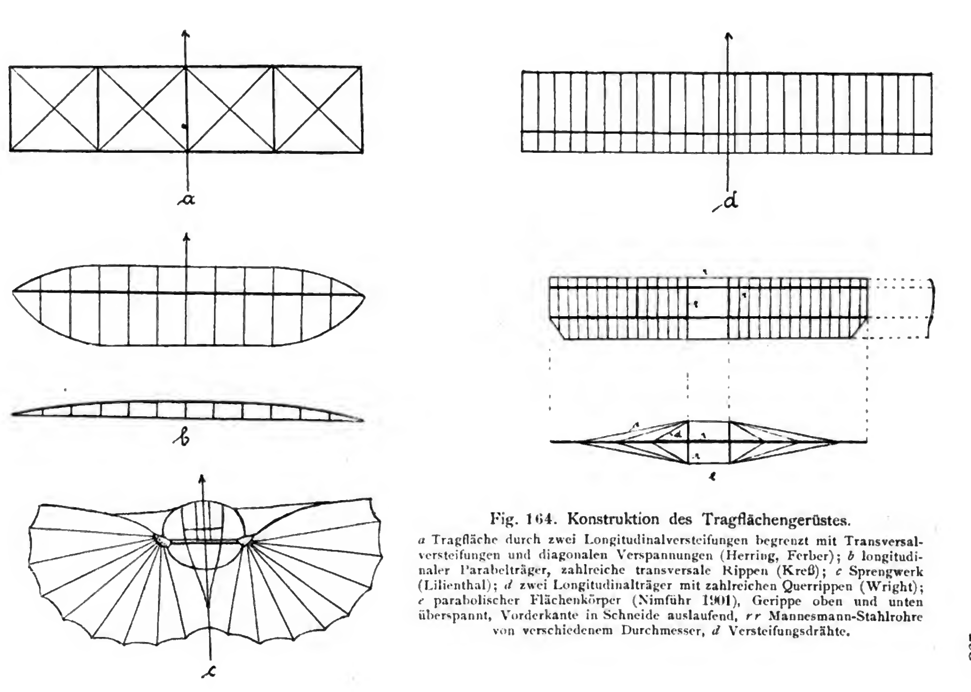


Fig. 164. Konstruktion des Tragflächengerüstes.

a Tragfläche durch zwei Longitudinalversteifungen begrenzt mit Transversalversteifungen und diagonalen Verspannungen (Herring, Ferber); *b* longitudinaler Parabelträger, zahlreiche transversale Rippen (Kreß); *c* Sprengwerk (Lilienthal); *d* zwei Longitudinalträger mit zahlreichen Querrippen (Wright); *e* parabolischer Flächenkörper (Nimführ 1901), Gerippe oben und unten überspannt, Vorderkante in Schneide auslaufend, *r r* Mannesmann-Stahlrohre von verschiedenem Durchmesser, *d* Versteifungsdrähte.

Digitized by Google

einer oder zwei transversal gelagerten Längsversteifungen und einer kleineren oder größeren Anzahl von longitudinalen Querversteifungen, Rippen genannt. Die Längsversteifungen sind aus einfachen Holzstangen, Bambus-, Tonkingrohren, aus Metallrohren (Stahl, Magnalium) hergestellt oder sie sind als zusammengesetzte Träger ausgebildet.

Bei einzelnen Konstruktionen beschränkt sich die Versteifung des Trägers bloß auf einen oder mehrere lotrechte nach oben und unten aufgesetzte Stege, über welche Drähte gespannt sind; bei anderen Typen finden wir regelrecht ausgebildete Parabel- oder auch Parallelträger. Konstruktionen mit innerer Versteifung liegen bisher nur wenige vor. Wegen der Verminderung des Stirnwiderstandes auf den

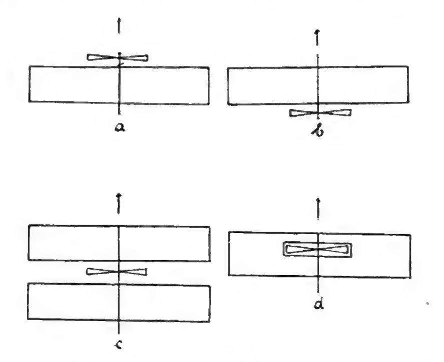


Fig. 165. Anordnung der Schraubenpropeller.
a Propeller an der Stirnseite, frontale Anordnung; *b* Propeller an der Rückseite, tergal; *c* mediale, zwischen zwei Tragflächen; *d* intral, innerhalb einer Tragfläche.

kleinstmöglichen Wert ist die rein innere Versteifung jedenfalls die vollkommenste. Auf Grundlage des Gliederungsprinzipes wird auch die Konstruktion von Tragflächen von sehr erheblichen Dimensionen nicht auf unüberwindliche Schwierigkeiten stoßen. Laufen die Rippen der Transversalversteifung auf der Tergalseite ohne longitudinale Versteifung frei aus, so entsteht eine halbsteife Tragfläche mit biegsamem elastischen Hinterrand. Die Rippen sind aus Holzstäben, aus zusammengeleimten Furnieren oder aus dünnen Stahlrohren.

Zur Bespannung dienen leichte, dichte und feste Stoffe aus Seide oder Baumwolle. Auch Bespannungen aus dünnen Metallblechen von Aluminium oder Magnalium, können in Betracht gezogen werden. Der Bespannungsstoff kann, um ihn luftundurchdringlich zu machen, gefirnißt werden; es wurden aber auch ungefirnißte Stoffe verwendet. Der Bespannungsstoff wird über den Rahmen gelegt und zwar bloß einseitig oder auch doppelt und an den Rändern am Ver-

Digitized by Google

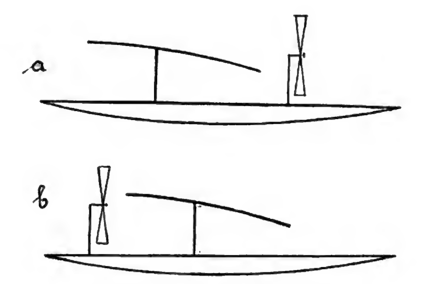


Fig. 166. Propeller-Anordnung.

a Druckschraube: Vortriebspunkt des Propellers hinter dem Druckmittelpunkt der Tragfläche; *b* Zugschraube: Propeller vor der Tragfläche, wirkt ziehend. — Flugrichtung von rechts nach links.

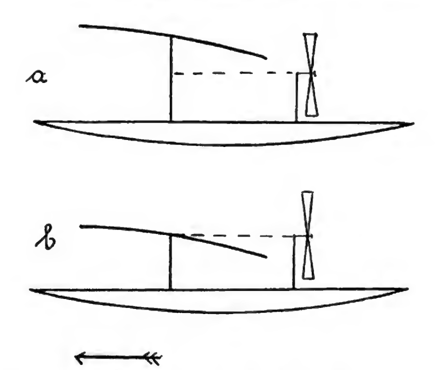


Fig. 167. Propeller-Anordnung.

a Subordinierte Anbringung: Achse unter dem Druckmittelpunkt der Tragfläche; *b* koordinierte Propeller-Anordnung: Achse durch den Druckmittelpunkt der Tragfläche: Propulsion erzeugt im Falle *b* kein Drehmoment in bezug auf den Druckmittelpunkt, was vorteilhaft ist behufs Vermeidung von longitudinalen Schwankungen bei Änderungen der Intensität der Propulsion.

steifungsrahmen festgenäht. Weniger zweckmäßig ist die Befestigung vermittels eines Bandes mit Schnürlöchern, das um den Rand des Bespannungsstoffes angenäht ist. Eine gut gebaute Tragfläche soll oben und unten vollkommen glatt gespannt sein. Auch bei voller Be-

Digitized by Google

lastung im Fluge dürfen sich in longitudinaler Richtung keine Einbuchtungen bilden. Rippungen in transversaler Richtung sind weniger schädlich. Ganz unzweckmäßig sind deshalb diagonale Drahtverspannungen, gegen welche die Bespannung sich anlehnt. Unter Umständen kann es vorteilhaft sein, den Rahmen ganz oder wenigstens teilweise zusammenlegbar zu konstruieren.

Einzelne Drachenfliegertypen besitzen einen bootförmigen Rumpf, der auch vollkommen geschlossen sein kann, bei anderen Konstruktionen findet sich bloß ein wagen- oder schlittenartiges Gestell. Die Ausgestaltung des Rumpfes hängt wesentlich ab von der Methode, nach welcher der Abflug erfolgen soll. Beim Aufflug vom festen Boden wird der Apparat auf Räder oder auf Kufen gestellt; soll der Aufflug vom Wasser erfolgen, postiert man ihn auf bootartige Schwimmkörper, die auch mit Schwimmern versehen sind, um den Apparat vor dem Untersinken zu schützen.

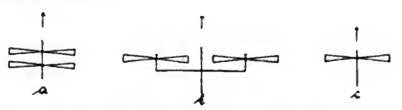


Fig. 168. Propeller-Anordnung.

a Zwei gegenläufige Schrauben an derselben Achse, koaxiale Anordnung (Zwilling); *b* zwei Schrauben mit verschiedenen Achsen, symmetrisch zur medianen Longitudinalebene im gleichen Transversalschnitte, disaxiale Anordnung (Paar); *c* einzelne Schraube (Einsiedler).

4. Stabilisierung.

Ein dauernd flugfähiger Drachenflieger muß nach allen drei Richtungen des Raumes genügend stabilisiert sein. Es dürfen die während des Fluges durch auftretende äußere oder innere Kräfte, bzw. mögliche Änderungen derselben bewirkten Schwingungen um den Druckmittelpunkt des schwebenden Systems keinen erheblichen Betrag erreichen und sie müssen auch automatisch und möglichst rasch gedämpft werden. Die Stabilisierung kann durch Kräfte erzeugt werden, welche aus einer Wechselwirkung zwischen den Elementen des Apparates und der atmosphärischen Luft entstehen oder durch innere Kräfte, welche von dem Einflusse der Außenluft unabhängig sind. Die erste Art der Stabilisierung nennen wir die exogene, die zweite die endogene. Zur exogenen Stabilisierung dienen Steuerflächen, Schrauben u. a.; die endogene Stabilisierung wird durch die Trägheit rotierender Massen erzeugt nach dem Kreiselprinzip. Die endogene Stabilisierung wirkt immer automatisch. Die exogene kann durch den Flieger selbst erzielt werden oder sie erfolgt automatisch. Die manuelle exogene Stabilisierung wird bewirkt durch Verschiebung, bzw. Verdrehung von Steuerflächen (Stabilisierungsflächen). Es wird dadurch ein Drehmoment erzeugt, das der störenden äußeren Kraft entgegenwirkt. Die Betätigung der Stabilisierungsflächen kann auch automatisch durch einen Pendelapparat erfolgen, der zur Wirkung kommt, sowie die Neigung

Digitized by Google

der Längs-, bzw. der Querachse des Apparates einen gewissen Betrag überschreitet. Der Pendelstabilisator wirkt ersichtlich immer erst, wenn die Stabilitätsstörung schon eingetreten ist. Der Pendelstabilisator wurde von Herring zur Stabilisierung von Gleitmodellen angewandt, später wieder von Rodet (Revue de Mécanique, 29. Febr. 1908) vorgeschlagen. Davidesco ließ durch einen Pendelstabilisator die zwei Höhensteuer seines Aeroplanes (eines an der Stirn-, das andere an der Rückseite der Drachenfläche angebracht) betätigen.

Am rationellsten wäre die endogene Stabilisierung mittels rasch rotierender Kreisel (Gyroskop). Eine rotierende Scheibe setzt bekanntlich jeder Abdrehung aus der ursprünglichen Rotationsebene einen Widerstand entgegen. Dieser wird um so größer, je rascher die Scheibe rotiert und je größer deren Masse ist. Wird ein freischwebender Drachenflieger mit Gyrostaten ausgerüstet, die möglichst weit vom aerodynamischen Suspensionspunkte, dem Druckmittelpunkte, angebracht sind, so muß die gleichgewichtsstörende Kraft zunächst einen gewissen Betrag überschreiten, ehe eine Abdrehung aus der wagerechten Fluglinie erfolgen kann. Kleinere Störungen werden deshalb im Keime erstickt, größere gedämpft. Das Gyroskop wurde wohl wiederholt zur Stabilisierung vorgeschlagen, so von Maxim, Regnard u. a. Die praktischen Schwierigkeiten seiner Anwendung sind aber so groß, daß bisher keine nennenswerten Resultate erzielt werden konnten.

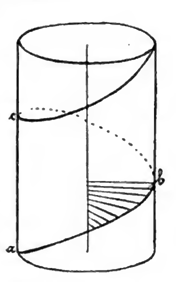


Fig. 169. Erzeugung einer orthogonalen Schraubenfläche.
abc Erzeugende, *ac* Ganghöhe.

Bei allen bisher praktisch erprobten Drachenfliegern wird die exogene Stabilisierung angewandt. Wir wollen nun deren Wirkung näher betrachten.

Die durch den Schwerpunkt eines Drachenfliegers in der Flugrichtung gelegte lotrechte Ebene, heißt die Longitudinalebene, die zur Flugrichtung senkrechte Lotebene, werde die Transversalebene genannt und die wagerechte Ebene durch den Schwerpunkt wollen wir als Horizontalebene bezeichnen. Die Schnittlinie der Longitudinalebene mit der Horizontalebene gibt die Longitudinalachse, der Schnitt zwischen der Transversal- und der Horizontalebene die Transversalachse und die Schnittlinie der Longitudinal- mit der Transversalebene die Zenitalachse. Soll ein Drachenflieger flugfähig sein, so muß er imstande sein, durch den Vortrieb seines Propellers, die Schwebegeschwindigkeit zu erreichen und diese auch dauernd zu erhalten. Ist der Propeller nicht imstande, dem Apparat, den zur Erzielung der Schwebegeschwindigkeit erforderlichen Antrieb zu erteilen, so kann der Drachenflieger bloß längere oder kürzere Luftsprünge ausführen, er ist aber nicht dauernd flugfähig. Die zweite ebenso wichtige Forderung für die Erzielung der Flugfähigkeit ist, daß der Apparat stabil sei, d. h. er darf nach dem Verlassen des Bodens weder in longitudinaler noch in transversaler Richtung kippen oder auch nur stark oszillierende

Digitized by Google

Bewegungen ausführen. Alle auf einen schwebenden Drachenflieger wirkenden Kräfte, lassen sich auf drei, die Hauptkräfte, reduzieren.

Diese sind: die Mittelkraft der Reaktion der Luft gegen die Tragfläche, den Apparatrumpf samt Insassen usw., kurz gegen das ganze schwebende System; diese allgemeine Mittelkraft heißt die Reaktante, ihr Angriffspunkt der Reaktionspunkt. Die Gesamtwirkung der Schwerkraft können wir uns im Schwerpunkt vereinigt denken. Den durch das Gewicht repräsentierten Kraftbetrag wollen wir den Abtrieb nennen.

Dazu kommt noch als dritte Hauptkraft, der Vortrieb des Propellers. Den Angriffspunkt des Vortriebes nennen wir den Propulsionspunkt. Reaktions-, Propulsions- und Schwerpunkt, heißen die drei Hauptpunkte des Drachenfliegers.

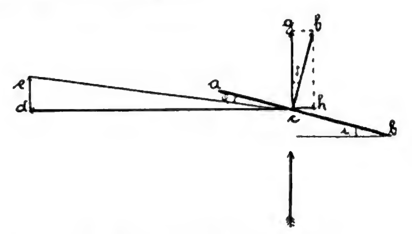


Fig. 170. Propulsions-Luftschraube.

Schnitt durch ein Schraubenblatt parallel zur Achse, *ab* Schnittlinie; befiederter Pfeil gibt die Fortbewegungs(Translations)richtung, *de* die Größe der Translationsgeschwindigkeit; *cd* die augenblickliche Rotationsgeschwindigkeit nach Richtung und Größe; *ce* gibt die Richtung und Größe des relativen Windes im betrachteten Querschnitt an; *i* ist der Inklinationswinkel des Flächenelementes und *g* der Inzidenz-(Einfalls)winkel des relativen Windes; *cf* der infolge der Rotation und Translation der Schraube entstehende Luftwiderstand gegen das betrachtete Flächenelement nach Größe und Richtung; die Mittelkraft *cf* kann in die Komponente *cg* in Richtung der Translation, den Schub, und die darauf senkrecht stehende Komponente *ch* in der momentanen Drehrichtung, die Hemmung, zerlegt werden. Die Summe der Komponenten *cg* über die ganze Schraubenfläche gibt den gesamten Schub, Vortrieb; die Summe der Komponenten *ch* die gesamte Hemmung, den Widerstand gegen die Drehung.

Die Reaktante kann stets in eine lotrechte Komponente, den Auftrieb und eine horizontale Komponente, den Rücktrieb, zerlegt werden. Im stationären Flug, wenn der Apparat mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich horizontal bewegt, ist der Auftrieb gleich dem Rücktrieb. Fallen die drei Hauptpunkte zusammen, so befindet sich der Apparat im longitudinalen Gleichgewichte, er kann weder nach vorne noch nach hinten kippen. Das Gleichgewicht ist aber in diesem Falle ein labiles, der Flugkörper wird, wenn durch eine äußere auf ihn wirkende Kraft (Windwelle) die Longitudinalachse eine Änderung ihrer Richtung erfährt, nicht automatisch in die Gleichgewichtslage zurückkehren, sondern falls die störende Kraft genügend groß ist,

Digitized by Google

umkippen. Soll das Gleichgewicht stabil sein, so muß der Flugkörper nach Verschwinden der störenden Kraft wieder automatisch in seine Gleichgewichtslage zurückkehren. Die erste Bedingung für die Erzielung eines stabilen Gleichgewichtes ist, daß die drei Hauptpunkte nicht zusammen fallen. Ferner muß der Schwerpunkt unter dem Reaktionspunkte liegen. Fällt der Schwerpunkt mit dem Reaktionspunkt in dieselbe Lotebene, so verhält sich das schwebende System

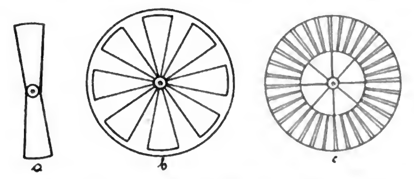


Fig. 171. Luftschraube, Ventilator, Windrad.

Schema von: Luftschraube *a*, Ventilator *b* und Windrad *c*; Zweck der Luftschraube *a*: einen möglichst großen Schub bei geringster Hemmung zu erzeugen. Zweck des Ventilators *b*: möglichst viel Luft zu fördern bei geringster Antriebskraft. Zweck des Windrades *c*: möglichst große peripherische Umdrehungskraft zu erzeugen bei geringstem Schub.

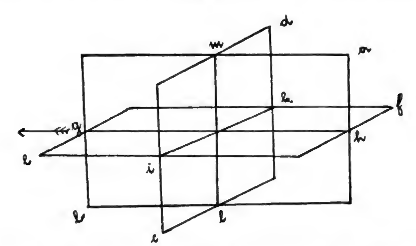


Fig. 172. Ebenen und Schnittlinien zur Charakterisierung der Bewegungsrichtung.

a b Longitudinalebene, *c d* Transversalebene, *e f* Horizontalebene, *g h* Longitudinalachse, *i k* Transversalachse, *l m* Zenitalachse.

wie ein Körper, den man um eine über seinem Schwerpunkt liegende Achse wie ein Pendel schwingen läßt. Je höher der Aufhängepunkt über dem Schwerpunkt liegt, um so langsamer werden die Schwingungen sein und um so länger werden diese bei gleichem anfänglichen Ausschlag dauern. Liegt der Aufhängepunkt nahe dem Schwerpunkte, so erfolgen die Schwingungen rascher, das Pendel kommt aber auch rascher zur Ruhe, man sagt die Dämpfung des kurzen Pendels ist größer. Ganz analog verhält sich die Sache beim schwebenden Drachenflieger. Liegt der Schwerpunkt tief unter dem Reaktionspunkt, so werden bei Störungen des longitudinalen Gleich-

Digitized by Google

gewichtes Schwingungen in der Longitudinalebene um die Transversalachse eintreten. Je geringer die Distanz des Schwerpunktes vom dynamischen Stützpunkte, d. i. dem Reaktionspunkte ist, um so rascher werden die Schwingungen erfolgen, um so geschwinder werden sie aber auch gedämpft. Es ist deshalb ein Trugschluß, wenn man meint,

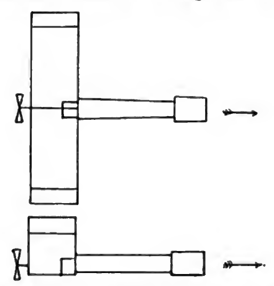


Fig. 173 a. Schema des Drachenfliegers von Santos-Dumont.
Duplex mit Antrieb durch tergalen Zwilling und frontaler duplex Stabilisierungsfläche.

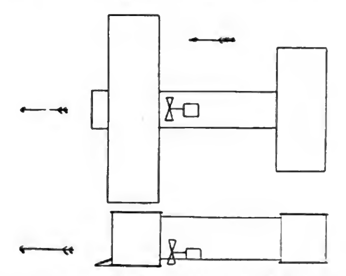


Fig. 173 b. Schema des Drachenfliegers der Brüder Voisin, (Type Farman).
Duplex mit Antrieb durch tergalen Einsiedler, großer tergaler duplex Stabilisierungsfläche und kleinem frontalen Höhensteuer. Oben: Draufsicht, unten: Seitenansicht.

die Stabilität durch möglichste Tieflegung des Schwerpunktes zu erhöhen. Apparate mit sehr tief gelegenem Schwerpunkte, heißen stark unterlastig.

Da es wünschenswert ist, daß Störungen durch äußere Kräfte so rasch als möglich gedämpft werden, muß im Gegensatz zur vulgären Ansicht der Schwerpunkt möglichst nahe dem Reaktionspunkt liegen. Der Flugkörper darf also nur schwach unterlastig sein. Bestimmte Zahlenwerte für das Maß der zulässigen Unterlastigkeit, lassen sich

Digitized by Google

derzeit nicht angeben. Es hängt dies auch wesentlich von der spezifischen Konstruktion des Apparates ab. Die longitudinale Stabilisierung darf also nicht durch die Tieflegung des Schwerpunktes erzielt werden, sondern es müssen zu diesem Zwecke andere Anordnungen getroffen werden. Ein wirksames Mittel zur Erzielung eines stabilen longitudinalen Gleichgewichtes bildet das Pénaudsteuer, dessen Wirkung schon im vorausgehenden kurz erläutert wurde. Wir verlegen den Schwerpunkt

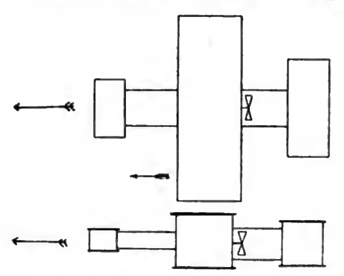


Fig. 173 c. Schema des Drachenfliegers der Brüder Voisin, (Type Delagrange).
Duplex mit Antrieb durch tergalen Einsiedler, nahezu gleich großer frontaler und tergaler duplex Stabilisierungsfläche. Oben: Draufsicht, unten: Seitenansicht.

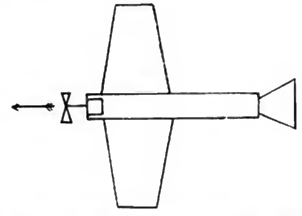


Fig. 173 d. Schema des Drachenfliegers von Gastambide-Mangin.
Monoplan. Antrieb durch frontalen Einsiedler. Tergales Horizontalsteuer.

ein wenig vor den Reaktionspunkt. Es entsteht dadurch eine drehende Kraft, die den frei schwebenden Flugkörper zum Überkippen nach vorne bringen würde. Nun drehen wir ein horizontales, an der Tergalseite des Apparates angebrachtes, Steuer so auf, daß bei der Vorwärtsbewegung des Apparates die Luft gegen dessen obere Seite trifft. Der dadurch hervorgerufene Reaktionsdruck der Luft gegen die Steuerfläche heiße der Steuerdruck, sein Angriffspunkt der Steuerdruckpunkt. Bei ebenen Steuerflächen gibt der Steuerdruck eine lotrecht nach unten und eine horizontale, tergal gerichtete Komponente. Die erstere

Digitized by Google

heißt der Steuerabtrieb, die zweite der Steuerrücktrieb. Die Distanz der Drehachse des Steuers vom Reaktionspunkt wollen wir die Ausladung des Steuers nennen. Die Drehachse des Steuers sei so gelegen, daß die Horizontalkomponenten des Steuerdruckes und der Reaktante in dieselbe Horizontalebene fallen. Ihre Summe gibt dann den ge-

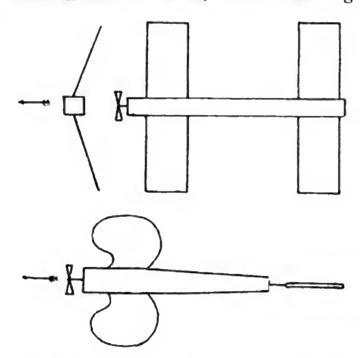


Fig. 173e. Schema des Drachenfliegers von Blériot.
(Oben): Biplan in Scharfkielform gestellt mit Antrieb durch frontalen Einsiedler.
(Unten): Monoplan, Antrieb durch frontalen Einsiedler; tergales Vertikalsteuer.

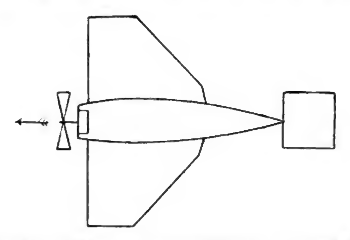


Fig. 173f. Schema des Drachenfliegers von Esnault-Pelterie.
Monoplan. Antrieb durch frontalen Einsiedler. Tergales Horizontalsteuer.

samten Rücktrieb. Liegt der Propulsionspunkt mit dem Reaktionspunkt in der gleichen Horizontalebene und ist der Vortrieb gleich dem gesamten Rücktrieb, so sind alle auf den Flugkörper in horizontaler Richtung wirkenden Kräfte im Gleichgewicht und bedingen auch keine drehenden Kräfte. In lotrechtem Sinne wirken auf den Flugkörper nach unten der Abtrieb im Schwerpunkte und die lotrechte

Digitized by Google

Komponente des Steuerdruckes, nach oben der Auftrieb. Im stationären Fluge muß der Auftrieb gleich sein der Summe der abtreibenden Kräfte. Da letztere, der Voraussetzung nach, mit dem Auftrieb nicht in dieselbe Lotebene fallen, treten auch drehende Kräfte auf. Der Abtrieb des Gewichtes sucht im Schwerpunkt den ganzen Apparat um den Reaktionspunkt nach vorn zu drehen, der Abtrieb des Steuerdruckes dagegen nach rückwärts. Gleichgewicht kann im longitudinalen Sinne nur bestehen, wenn die drehende Wirkung der beiden Kräfte in bezug auf den Reaktionspunkt die gleiche ist. Das longitudinale Gleichgewicht ist in diesem Falle stabil, denn es stellt sich nach Störungen wieder automatisch her. Treten störende Kräfte auf, die aber nur kurze Zeit wirken (Windwellen), so werden sie das Auftreten

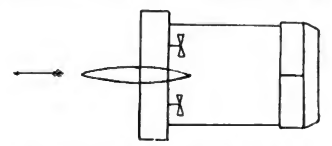


Fig. 173 g. Schema des Drachenfliegers von De la Vaulx.
Monoplan. Antrieb durch tergalen Zwilling. Große tergale Stabilisierungsfläche.

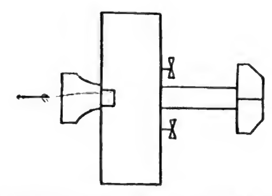


Fig. 173 h. Schema des Drachenfliegers von Seux.
Monoplan. Antrieb durch tergalen Zwilling, mit frontaler und tergaler Stabilisierungsfläche.

von Schwingungen um die Transversalachse zur Folge haben. Sollen diese rasch gedämpft werden, so müssen die drehenden Kräfte möglichst groß werden. Dies ist der Fall, wenn große Steuerflächen mit kleiner Ausladung oder kleine Steuer mit großer Ausladung verwendet werden. Auch durch stärkere Aufdrehung des Steuers können die drehenden Kräfte vergrößert werden. Da dadurch aber gleichzeitig auch die Horizontalkomponente des Steuerdruckes größer wird und den Rücktrieb vermehrt, ist es nicht zweckmäßig, die Aufdrehung des Pénaudsteuers stärker zu machen, als unbedingt notwendig ist.

Liegen die drei Punkte: Reaktions-, Propulsions- und Steuerdruckpunkt nicht in derselben Horizontalebene, so treten immer drehende Kräfte auf, die das longitudinale Gleichgewicht stören und einen stationären Flug unmöglich machen. Ist die Propellerachse so gelagert,

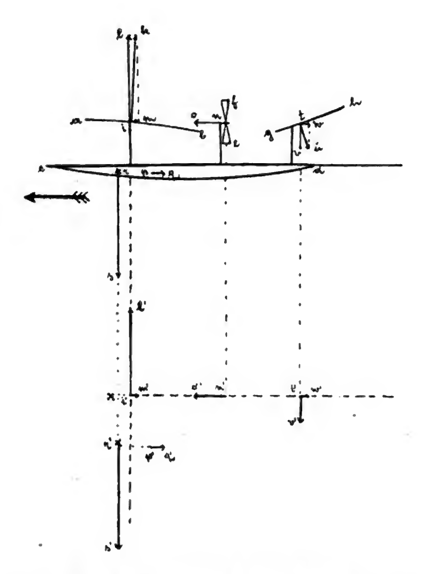


Fig. 174. Longitudinale Stabilisierung.

Longitudinale Stabilisierung eines Monoplanes durch das Pénaud-Steuer. Schema eines Drachenfliegers. *a b* Schnitt der Tragfläche, *c d* Rumpfquerschnitt, *e f* Propulsionsschraube, *g h* Schnitt des Pénaud-Steuers, *i k* Mittelkraft des Luftwiderstandes gegen die Tragfläche nach Größe und Richtung, *i* Druckmittelpunkt der Tragfläche, *i l* lotrechte Komponente der Mittelkraft = Auftrieb, *i m* horizontale Komponente = Rücktrieb der Tragfläche, *n o* Vortrieb des Propellers, *p q* Rücktrieb des Apparatrumpfes samt Insassen, *r s* Intensität der Schwerkraft (Gewicht = Abtrieb), *r* Schwerpunkt des ganzen Apparates, *t u* Steuerdruck. Im Falle stabilen Gleichgewichtes muß die geometrische Summe der Auftriebskomponenten gleich sein dem Abtriebe und die Summe der Rücktriebe gleich dem Vortriebe, weiters muß die Summe aller Drehmomente in bezug auf den Druckmittelpunkt des ganzen Systems = Reaktionspunkt verschwinden. Das Kräfteschema gibt die wirkenden Kräfte nach Größe und Richtung und macht die Momente unmittelbar ersichtlich. Vorlastigkeit des Schwerpunktes erzeugt Drehmoment $r' s' \times i' k$; lotrechter Steuerdruck des Pénaudsteuers $t' v'$ gibt das entgegengesetzte Drehmoment $t' v' \times t' i'$. Apparat ohne Pénaud-Steuer: Tendenz nach vorn überzukippen. Druck gegen Pénaud-Steuer erzeugt Gegendrehmoment, das die dynamische Fesselung bewirkt.

daß der Propulsionspunkt höher liegt als der Reaktionspunkt, so entsteht eine drehende Kraft, die den Apparat nach vorne umzukippen sucht. Ist eine Tieferlegung der Propellerachse nicht möglich, so kann der Stabilitätsmangel nur dadurch behoben werden, daß die

Digitized by Google

Drehachse des Steuers ohne Änderung ihrer Ausladung höher gelegt wird. Der Steuerrücktrieb erzeugt dann eine rückwärtsdrehende Kraft, welche der vordrehenden Kraft, der Propulsion, entgegenwirkt und ihr bei entsprechender Größe das Gleichgewicht hält. Da der Steuerrücktrieb sehr klein ist gegenüber dem Propellervortrieb, können auf diese Weise geringe Gebrechen behoben werden. Liegt der Propulsions-

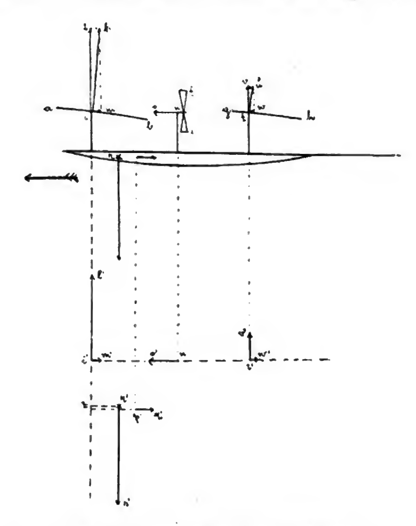


Fig. 175. Longitudinale Stabilisierung.

Longitudinale automatische Stabilisierung eines Monoplanes durch tergale Stabilisierungsfläche $g\ h$, welche die Funktion des Pénaud-Steuers erfüllt, aber Druck von unten erhält; Schwerpunkt r hinterlastig, liegt tergal, rückwärts vom Tragflächen-Druckmittelpunkt. Abtrieb Drehmoment $r'\ s' \times r'\ z$, Gegendrehmoment des Auftriebes der Stabilisierungsfläche $t'\ v' \times t'\ i'$; ökonomischer als Pénaud-Steuer, weil Steuerdruck auftriebvermehrend wirkt.

punkt erheblich über oder unter dem Reaktionspunkt, so bleibt nichts übrig, als durch entsprechende Umkonstruierungen die Distanz möglichst herabzudrücken. Genau derselbe Effekt, wie mit dem bisher betrachteten Rückensteuer, läßt sich auch mit einem an der Vorderseite der Tragfläche angebrachten Stirnsteuer erzielen. Dieses muß aber aufgedreht sein. Die lotrechte Komponente des Steuerdruckes ist beim Stirnsteuer lotrecht nach oben gerichtet, es wirkt also als Auftrieb. Dies ist unter sonst gleichen Umständen ein Vorteil des Stirnsteuers.

Digitized by Google

Der Propeller wirkt ziehend oder drückend (schiebend), je nachdem der Propulsionspunkt frontal oder tergal vom Reaktionspunkte liegt. Die ziehende Anordnung der Propeller ist im Hinblick auf die Stabilisierung jedenfalls die günstigere. Schon beim ersten Entwurf eines Drachenfliegers muß darauf hingearbeitet werden, den Schwerpunkt möglichst nahe an den Reaktionspunkt zu bringen, so daß der Apparat nur schwach unterlastig ist. Die Erzielung der entsprechenden Vorlastigkeit wird weniger schwierig sein. Man hat zu diesem Zwecke vielfach den Motor, den Führersitz, ja selbst die ganze Gondel horizontal verschiebbar angeordnet.

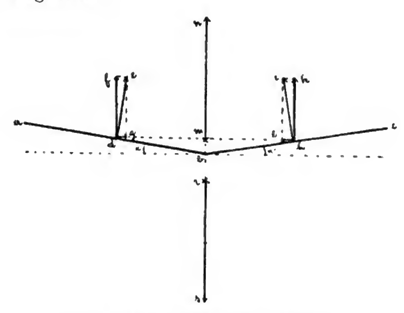


Fig. 176 a. Laterale Stabilisierung.

Laterale Stabilisierung eines gekielten Monoplanes: *a b c* Transversalschnitt eines Monoplanes; *d e*, *h i* Mittelkräfte des Luftwiderstandes gegen die symmetrischen und gleichen Tragflächenhälften (Lateralkräfte). Lotrechte Komponenten *d f*, *h k*: Auftrieb, horizontal, senkrecht zur Flugrichtung (senkrecht zur Papierebene) *d g*, *h e*: Kielkräfte. Bei symmetrischem Bau und gleicher Kielung $k = k'$ sind die Lateralen gleich, ebenso ihre Komponenten $d\,g = h\,e$, und heben einander auf. Angriffspunkt *m*, Mittelkraft des Auftriebes *m n* fällt in die Symmetrieebene; Schwerpunkt *r* hat in bezug auf *m* kein Drehmoment. Transversales Gleichgewicht.

Diese Darlegungen dürften genügen, um auch in jedem konkreten Falle für die longitudinale Stabilisierung maßgebenden Umstände zu überschauen. Die Erzielung einer genügend großen longitudinalen Stabilität, bildet neben der Beschaffung der erforderlichen Motorarbeit das wichtigste und auch schwierigste Problem der praktischen Flugtechnik.

Ebenso notwendig wie die longitudinale, ist die transversale Stabilisierung; letztere ist aber viel leichter in praktisch zu erreichendem Maße erzielbar. Die transversale Stabilisierung soll ein Kippen des Flugkörpers nach links und rechts, also um die Longitudinalachse ausschließen und Schwingungen um diese Achse möglichst rasch dämpfen. Bei stabiler transversaler Stabilisierung, muß der Schwerpunkt des schwebenden Systems unterlastig und mit dem Reaktionspunkt in derselben Longitudinalebene liegen. Die Erfüllung dieser Bedingung

Digitized by Google

genügt aber nicht, um auch Schwingungen um die Longitudinalachse zu dämpfen. Es ist zu diesem Zwecke, analog wie bei der longitudinalen Stabilisierung, die Beschaffung von gegendrehenden Kräften notwendig.

Diese werden in einfachster Weise dadurch erhalten, daß man die Tragflächen im Transversalschnitt nicht gerade macht, sondern ihnen eine Kielung gibt. Jeder Flugkörper zerfällt durch die mediane Longitudinalebene in zwei symmetrische Hälften. Um den Einfluß der Kielung zu übersehen, müssen wir die Wirkung der Luft auf jede der beiden symmetrischen Hälften getrennt betrachten. Die Reaktante muß deshalb in zwei Teilkräfte zerlegt werden, die wir die Lateralen

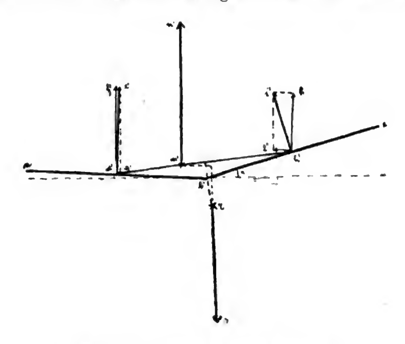


Fig. 176 b. Laterale Stabilisierung.

Laterale automatische Stabilisierung durch Kielung der Tragfläche. Erfolgt durch Einwirkung äußerer Kräfte eine Änderung der Inklinationswinkel gegen die Tragflächenhälften, so verschwindet auch die Symmetrie in bezug auf den Luftwiderstand. Der Auftrieb gegen die Hälfte mit abnehmendem Keilwinkel (in der Zeichnung die linke) wird größer, gegen die andere kleiner. Der Druckmittelpunkt rückt aus der Symmetrieebene heraus gegen die Seite mit abnehmendem Keilwinkel. Der Schwerpunkt erhält ein Drehmoment gegen den Auftriebsmittelpunkt gegeben durch $r\,s \times m\,s$ und dieses bewirkt eine Rückdrehung (Senkung der rechten Hälfte). Es treten Schwingungen um die Longitudinalachse auf, nach Verschwinden der äußeren Kraft erfolgt nach der Dämpfung der Schwingungen wieder automatische Herstellung des lateralen Gleichgewichtes.

nennen wollen. Die linke Laterale stellt also die Wirkung der Luft auf die gesamte linke Hälfte des schwebenden Flugkörpers dar, bezogen auf die Flugrichtung. Die Angriffspunkte der Lateralen, heißen die Lateralpunkte. Da um die longitudinale Medianebene alles symmetrisch ist, müssen auch die Lateralpunkte, sowie die Lateralkräfte, um diese Ebene im Gleichgewichtszustande symmetrisch liegen. Die Lateralkräfte werden auch gleich groß sein müssen. Was die Richtung der Lateralen betrifft, so ist evident, daß diese weder lotrecht noch horizontal gerichtet sein können. Sie müssen deshalb mit der Lotlinie durch die Lateralpunkte einen zwischen Null und einem rechten liegenden Winkel einschließen. Die durch jede Laterale gelegte Lot-

Digitized by Google

ebene wird aber im allgemeinen auch nicht mit einer Longitudinalebene zusammenfallen können. Dies wird ganz sicher nicht der Fall sein, wenn die Tragflächen gekielt sind. Wir können demnach jede Laterale in drei aufeinander senkrecht stehende Komponente zerlegen. Die lotrechte Komponente stellt wieder den Auftrieb, die horizontale, parallel zur Longitudinalachse liegende Teilkraft bildet den Rücktrieb;

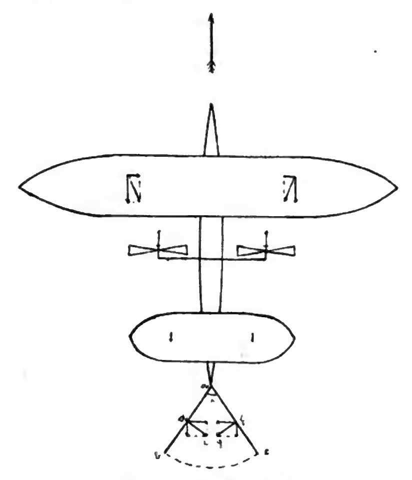


Fig. 177. Kurserhaltung.

Automatische Kurserhaltung des Drachenfliegers durch Keilsteuer. *a b*, *a c* Schnitte der beiden senkrecht zur Papierebene stehenden Keilsteuerflächen. Keilwinkel *a* sehr übertrieben gezeichnet; bei realen Konstruktionen sehr viel kleiner. Solange der Apparat im Kurs bleibt, sind die Keildrücke *d e*, *f g* gleich. Die Komponenten parallel und senkrecht zur Flugrichtung geben in bezug auf den Druckmittelpunkt der Tragfläche gleiche und entgegengesetzt gerichtete Drehmomente, die sich aufheben. Jede Drehung aus dem Kurs vermehrt den Druck gegen die vorausgehende Keilfläche und bewirkt deshalb eine Dämpfung, bzw. automatische Rückdrehung in den Kurs.

dazu kommt noch die horizontale, parallel zur Transversalachse, also senkrecht auf die Flugrichtung stehende und gegen die Medianebene gerichtete Komponente. Diese heiße die Kielkraft, denn sie ist hauptsächlich eine Folge der Kielung und verschwindet nahezu bei nichtgekielten Tragflächen. Die beiden Kielkräfte zielen gegen die Medianebene des Apparates, sie sind also einander entgegengerichtet und heben einander auf, da sie auch von gleicher Größe sind. Wenn durch eine äußere Kraft (Windwelle) gegen eine Hälfte der Tragfläche, etwa die rechte Hälfte, ein stärkerer Druck ausgeübt wird, als gegen die

Digitized by Google

andere, werden alle drei Komponenten der entsprechenden Lateralen größer werden. Setzen wir die beiden Lateralen zu einer einzigen Kraft, der Reaktante, zusammen, so wird der Angriffspunkt derselben, den wir als Reaktionspunkt bezeichnet haben, nicht mehr mit dem Halbierungspunkt der Verbindungslinie der beiden Lateralpunkte zusammenfallen, sondern näher dem Lateralpunkte jener Seite liegen, gegen welche der größere Druck ausgeübt wird. Der Reaktionspunkt fällt also nicht in die Medianebene, sondern liegt außer dieser.

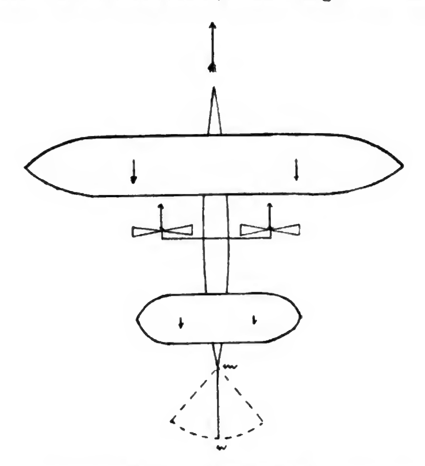


Fig. 178. Kurssteuerung.

(Steuerung in der Horizontalebene nach links oder rechts.) Lotrechtes Schwanzsteuer *m n* in der Medianebene des Apparates, erhält Druck von keiner Seite. Kurs gradaus ohne Änderung des Azimutes.

Alle Drehungen erfolgen, wie schon wiederholt betont wurde, um den dynamischen Stützpunkt, den Reaktionspunkt. Da der Reaktionspunkt außerhalb der Medianebene liegt, der Schwerpunkt aber in dieser, so muß eine Drehung des Flugkörpers eintreten. Der Flugkörper wird sich um den Reaktionspunkt drehen, und zwar so lange, bis der Schwerpunkt mit ihm in derselben Lotebene liegt. Infolge der Drehung um die durch den neuen Reaktionspunkt gehende longitudinale Achse, wird der Einfallwinkel der Seite, gegen welche der Überdruck wirkt, abnehmen, gegen die andere wird er größer werden. Dadurch wird eine Abschwächung des Lateraldruckes gegen die erstere und eine Druckzunahme gegen die letztere Seite eintreten. Durch die Kielung wird also der Druck gegen die Seite, auf welche

Digitized by Google

der Überdruck wirkt, allmählich abgeschwächt, gegen die andere verstärkt, wodurch eine stetige Abschwächung der störenden Kraft bewirkt wird. Fällt die störende Kraft fort, so nimmt der Druck den früheren Wert an, der Reaktionspunkt rückt wieder in die Medianebene und der Schwerpunkt dreht sich in seine ursprüngliche Lage zurück. Es wird also eine Pendelung eintreten und für diese lassen sich wieder dieselben Überlegungen anstellen wie für die longitudinalen Pendelungen, bewirkt durch Störungen des longitudinalen Gleichgewichtes. Es gilt wieder der Satz, daß der Apparat nur schwach unterlastig sein darf,

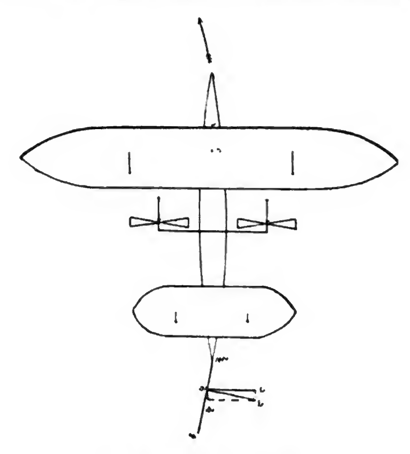


Fig. 179. Kurssteurung.

Vertikalsteuer *m n* erhält Druck auf der linken Seite. Steuerdruck *a b* in Komponenten parallel *a d* und senkrecht *a c* zur Flugrichtung zerlegt. Druckkomponenten erzeugen Drehmoment in bezug auf den Suspensionspunkt *s*. Apparat dreht sich um den Suspensionspunkt, bis das Drehmoment verschwindet, beschreibt deshalb einen Kreis mit dem Mittelpunkt zur linken Seite des nach der Flugrichtung schauenden Fliegers.

wenn die Pendelungen rasch gedämpft werden sollen. Da durch die Kielung der Reaktionsdruck der Luft gegen die Tragflächen vermindert wird, erscheint der Scharfkiel nicht vorteilhaft. Es genügt, wenn bloß die äußeren Enden der Tragflächen gekielt sind. Am günstigsten wird der Rundkiel sein mit flachem Mittelteil und sanft aufgebogenen Endteilen. Gebrochene Linien, scharfe Ecken sind in den Longitudinal- und auch den Transversalquerschnitten zu vermeiden, denn sie bedingen stets einen Kraftverlust, der sehr erheblich werden kann. Alle Längs- und Querprofile, wenn sie nicht geradlinig sind, sollen stetige Kurven bilden mit schwachen Krümmungen.

Digitized by Google

Wir haben bisher die Stabilisierung um die Longitudinal- und die Transversalachse besprochen. Soll ein Flugkörper imstande sein, einen geradlinigen stationären Flug auszuführen, so muß er auch um die Zenitalachse stabilisiert sein; die Longitudinalachse muß also, wenn sie nach einem bestimmten Punkt des Horizontes eingestellt ist, ihre Richtung beibehalten, der Apparat muß Kurs halten können. Wenn der Drachenflieger durch eine äußere Kraft (Windwelle) aus dem Kurs geworfen wird, soll er wieder automatisch in diesen zurückkehren. Um dies zu erreichen, muß ein Paar von drehenden Kräften erzeugt werden, die einander entgegengerichtet sind und sich aufheben, so

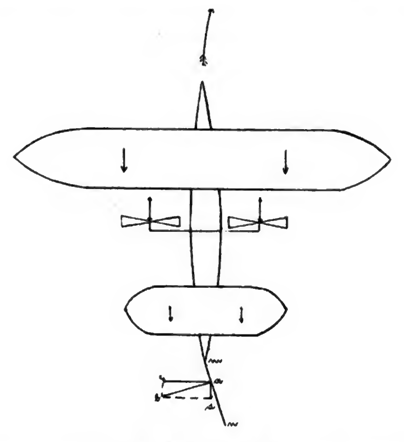


Fig. 180. Kurssteuerung.
Vertikalsteuer *m n* erhält Druck auf der rechten Seite. Kurs dreht sich nach rechts.

lange die Longitudinalachse im Kurs liegt. Kommt diese aber aus dem Kurs, so überwiegt die eine der beiden Drehkräfte und bringt den Apparat wieder in den Kurs zurück. Das gebräuchlichste Mittel zur Stabilisierung um die Zenitalachse bildet ein lotrechtes Keilsteuer an der Tergalseite der Tragfläche. Das Keilsteuer besteht aus zwei Flächen, die einen Keil bilden mit lotrechter und nach vorne gerichteter Schneide. Es ist so gestellt, daß die beiden Flächen symmetrisch zur Medianebene liegen. Bei ebenen Keilflächen stehen die Reaktionsdrucke der Luft auf diesen senkrecht und liegen in einer Horizontalebene. Wir können sie deshalb in eine longitudinale und eine transversale Komponente zerlegen. Die Angriffspunkte heißen die Keilpunkte. Die longitudinalen Komponenten haben die Richtung des

Digitized by Google

Rücktriebes der Reaktante und sind gleich groß. Wir können sie sonach zu einer einzigen Kraft vereinigen, die gleichgerichtet ist mit den Komponenten und deren Angriffspunkt im Mittelpunkte der Verbindungslinie der beiden Keilpunkte liegt. Die Resultierende der beiden Rücktriebkomponenten der Keildrucke fällt also in die Medianebene, sie vermehrt deshalb bloß den Rücktrieb der Reaktante, veranlaßt aber keine drehende Kräfte.

Die beiden transversalen Komponenten, die wir die Keildrucke nennen wollen, sind auch von gleicher Größe, aber einander entgegengerichtet; sie heben sich deshalb auf. Wird der schwebende Apparat durch eine äußere Kraft (Windwelle) außer Kurs gebracht, so daß also die Longitudinalachse mit dem Kurse einen Winkel einschließt, so wird das Kräftegleichgewicht gestört. Es drehe sich infolge der Störung die Longitudinalachse von oben gesehen im Sinne des Uhr-

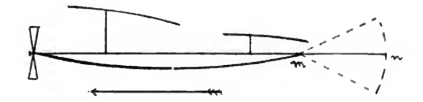


Fig. 181. Höhensteuerung.
Tergal-(Schwanz-) Steuer *m n*.

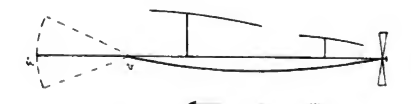


Fig. 181 a. Höhensteuerung.
Frontal-(Stirn-) Steuer *u v*.

zeigers aus dem Kurs. Es sei wieder darauf hingewiesen, daß die Drehung um den Reaktionspunkt erfolgt, der ja den dynamischen Stützpunkt des ganzen Apparates bildet. Infolge der Drehung wird die linke Keilseite mit der Flugrichtung einen größeren Winkel einschließen als die rechte und deshalb auch einen größeren Druck erfahren. Das Gleichgewicht der Rücktrieb- und Keilkräfte der beiden Keilflächen ist gestört. Es entsteht ein Überdruck auf der linken Keilseite, unter dessen Wirkung die Longitudinalachse entgegen dem Sinne der störenden Kraft in ihre ursprüngliche Lage zurückgedreht wird. Es werden ersichtlich Pendelungen um die Zenitalachse auftreten, die durch die Keilkräfte gedämpft werden. Soll die Dämpfung möglichst kräftig sein, so wird man entweder ein Keilsteuer mit großen Flächen oder eines mit weiter Ausladung nehmen müssen. Die Vergrößerung des Keilwinkels ist aus denselben

Digitized by Google

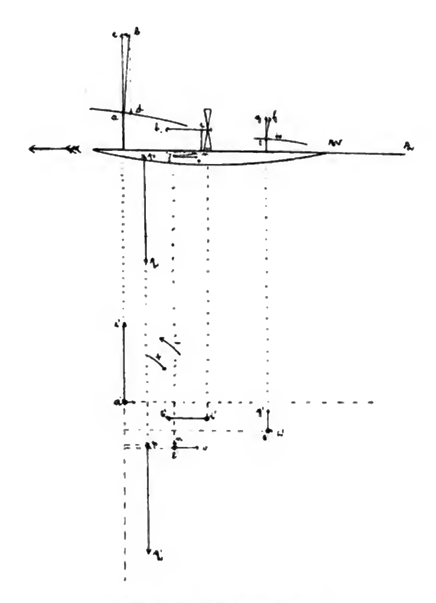


Fig. 182. Höhensteuerung.

Kräfteplan des gleichförmigen Horizontalfluges eines Monoplanes. Höhensteuer $w\ z$ horizontal erhält deshalb weder von oben noch von unten Druck. $a\ b = T$ Mittelkraft des Luftwiderstandes gegen die Tragfläche; $a\ e = T\ y$ lotrechte Komponente = Auftrieb der Tragfläche; $a\ d = T\ x$ horizontale Komponente = Rücktrieb der Tragfläche; $e\ f$ = Mittelkraft des Luftwiderstandes der Stabilisierungsfläche; $e\ g = S\ y$ = Auftrieb; $e\ h = S\ x$ = Rücktrieb der Stabilisierungsfläche; $i\ k = P\ x$ = Vortrieb des Propellers, $P\ y$ = Auftrieb des Propellers als Null vorausgesetzt; $l\ m = R$ = Rumpfwiderstand; $l\ n = R\ y$ = Auftrieb; $l\ v = R\ x$ = Rücktrieb des Rumpfes; $p\ q = G$ = Intensität der Schwerkraft (Gewicht) des ganzen Apparates; im gleichförmigen Horizontalfluge muß sein $Ty + Sy + Ry = G$ und $Tx + Sx + Rx = Px$; ferner muß die Summe aller Drehmomente des Luftwiderstandes, in bezug auf den Suspensionspunkt a, in dem man sich das ganze System aufgehängt denken kann, gleich sein dem Drehmoment des Schwerpunktes p in bezug auf den Suspensionspunkt. Drehmomente im Sinne des Uhrzeigers sind als positiv, im entgegengesetzten Sinne als negativ zu rechnen. Figur bloß schematisch, Drehmomente quantitativ nicht zutreffend gezeichnet zur Erhöhung der Klarheit.

Gesichtspunkten wie beim Pénaudsteuer nicht zweckmäßig. Auch die Kielung wirkt, wie leicht ersichtlich ist, als Stabilisator um die Zenitalachse. Die Kielung bedingt nämlich, daß die Rücktriebkomponenten

der Lateralen bei einer Abweichung vom Kurse gegen die beiden Hälften des schwebenden Flugkörpers verschieden werden. Der entstehende Überdruck gegen die im Sinne der Kursabweichung sich um die Zenitalachse drehenden Hälfte wirkt als bremsende Kraft, welche dem den Kurs störenden Impuls entgegenwirkt und stellt nach dessen Verschwinden wieder automatisch den Kiel in die ursprüngliche Kursrichtung ein.

Da die Richtung eines Gleichgewicht störenden Impulses (Windwelle) im Allgemeinen mit keiner der drei Hauptachsen zusammenfallen wird, treten gewöhnlich alle drei Stabilisatoren gleichzeitig in Tätigkeit. Die lotrechte Komponente der Störungskraft bewirkt Pendelungen

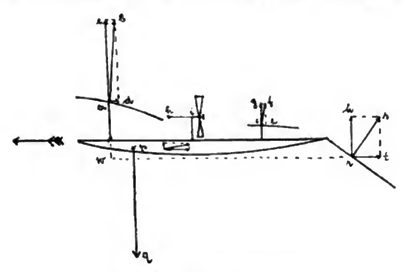


Fig. 183. Höhensteuerung.

Fallflug. Bezeichnungen dieselben wie in Fig. 182. Tergalsteuer abgedreht, empfängt Druck von unten. Drehmomente beider Komponenten des Steuerdruckes in demselben Sinne, es wirkt also die Summe der Drehmomente $ru \times rw + rt \times aw$ und dreht das tergale Ende (Schwanzseite) nach oben, wodurch eine Verminderung des Inklinationswinkels bewirkt wird. Der Auftrieb wird deshalb kleiner und der Apparat muß sich senken. Ein dauernder Sinkflug tritt aber nur ein, wenn gleichzeitig mit der Steuerabdrehung auch der Propellervortrieb verringert wird. Ist dies nicht der Fall, so kann der Apparat bei zunehmender Translationsgeschwindigkeit (infolge des verringerten Inklinationswinkels und des dadurch bedingten kleineren Rücktriebes) eine neue (größere) Schwebegeschwindigkeit erreichen, worauf (trotz der Steuerabdrehung) der Flug wieder horizontal wird.

um die Transversalachse; diese müssen durch das Pénaudsteuer oder eine ihm gleichwirkende Vorrichtung gedämpft werden. Von den beiden horizontalen Komponenten wirkt die eine parallel zur Transversalachse, die zweite parallel zur Longitudinalachse. Die erstere erzeugt Pendelungen um die Longitudinalachse, welche durch die Kielung ausgelöscht werden müssen, die letztere hat Schwingungen um die Zenitalachse zur Folge; diese werden durch das Keilsteuer oder bei gekielten Flächen durch die Kielung gedämpft. Wirken die drei Stabilisatoren entsprechend energisch, so wird die Wirkung einer kurz dauernden äußeren Störungskraft rasch abklingen und das schwebende System wird sich automatisch in den Zustand des stabilen Gleichgewichtes bringen. Bei einem rationell konstruierten Flugkörper soll selbst durch sehr erhebliche äußere Kräfte die

Digitized by Google

Stabilität nur wenig gestört werden. Die angegebenen Stabilisatoren bedingen zufolge ihrer Wirkung einen kontinuierlichen Energieverbrauch. Es müssen ja Luftwiderstände erzeugt werden, die gar keine andere Nutzwirkung haben, als daß sie den Stabilisator betätigen. Der Energieverbrauch wird noch erhöht, wenn einer oder mehrere Stabilisatoren in Tätigkeit treten. Bei schlecht stabilisierten Konstruktionen wird ein sehr erheblicher Teil der gesamten Flugarbeit lediglich für die Stabilisierung in Anschlag zu bringen sein. Aus diesem Grunde muß auf die Stabilisierung des Flugkörpers die größte Sorgfalt ver-

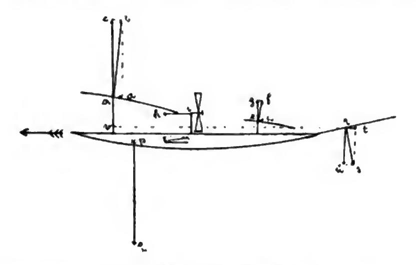


Fig. 184. Höhensteuerung.

Steigflug. Bezeichnungen dieselben wie in Fig. 182. Tergalsteuer, nach rückwärts aufgedreht, erhält Druck von oben. Steuerdruck $r\,s$ zerlegt in die lotrechte $r\,u$ und die horizontale Komponente $r\,t$ erzeugen das Drehmoment $r\,u \times r\,v$, beziehungsweise $r\,t \times a\,v$ in bezug auf den Suspensionspunkt a. Drehen beide im entgegengesetzten Sinne, deshalb wirkt die Differenz der Drehmomente $r\,u \times r\,v - r\,t \times a\,v$ im Sinne des Uhrzeigers und dreht das tergale (Schwanz-) Ende des Apparates nach unten. Dadurch wird der Inklinations-(Einfallswinkel) der Tragfläche größer, es wächst somit auch der Auftrieb, gleichzeitig aber auch der Rücktrieb. Ein dauernder Steigflug ist deshalb nur möglich, wenn mit Steuerdrehung gleichzeitig auch der Propellervortrieb vergrößert wird, sonst kann der Apparat bloß Wellen beschreiben, aber nicht dauernd steigen.

wendet werden. Es kann sonst geschehen, daß dieser trotz reichlich vorhandener Kraft doch nicht flugfähig gemacht werden kann, da die Stabilisierungsvorrichtungen zu viel Energie nutzlos konsumieren. Über die Stabilisierung von Drachenfliegern sind aus der neueren Literatur zu erwähnen die Arbeiten von Seux in Comptes Rendus (Paris) 1906 und von Rodet in Revue de Mécanique 1908.

5. Steuerung.

Von dem Problem der Stabilisierung streng geschieden, muß das Problem der Steuerung werden. Diese bietet bei einem flugfähigen Apparate keinerlei prinzipielle Schwierigkeiten. Die Steuerung im lotrechten Sinne, die Höhensteuerung, wird durch ein Horizontalsteuer bewirkt, das an der frontalen oder tergalen Seite des Apparates angebracht sein kann. Das Horizontalsteuer besteht aus einer einfachen

Digitized by Google

ebenen Fläche oder aus einem ebenen Flächenkörper und ist in ähnlicher Weise konstruiert wie die Tragfläche. Die Steuerfläche ist so angeordnet, daß sie sich um eine transversale Achse drehen läßt. Die Einstellung erfolgt vom Führerstande aus, durch Zugschnüre u. dgl. Wir wollen zunächst die Wirkung eines tergal angebrachten Steuers in Betracht ziehen, das gewöhnlich auch Schwanzsteuer genannt wird. Das Steuer werde nach rückwärts aufgedreht, so daß sein frontaler Rand tiefer liegt als der tergale. Wir zerlegen den Steuerdruck in eine horizontale und eine lotrechte Komponente. Die erste hat die Richtung eines Rücktriebes, die zweite jene eines Abtriebes. Beide Komponenten

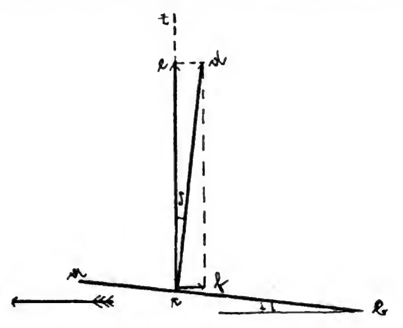


Fig. 185. Graphikon des Luftwiderstandes gegen eine ebene Tragfläche.
a b Schnitt der Tragfläche, bewegt in der Pfeilrichtung unter dem Inklinationswinkel *i*. Es entsteht ein Luftwiderstand, der nach Größe und Richtung gegeben ist durch *c d*; *c* Angriffspunkt der Mittelkraft des Luftwiderstandes (Druckmittelpunkt), Mittelkraft *c d* zerlegt in die lotrechte Komponente (Auftrieb) *c e* und die horizontale Komponente (Rücktrieb) *c f*, Winkel δ zwischen Lotlinie *c s* und Mittelkraft *c d* heißt Deklination.

haben deshalb die Tendenz, den Flugkörper um den Reaktionspunkt so zu drehen, daß sich die tergale Seite senkt. Dadurch wird die Schiefe der Drachenfläche größer. Es wächst deshalb die Reaktante und folglich auch deren Komponenten, der Auftrieb und der Rücktrieb. Befand sich der Flugkörper vor der Aufdrehung des Steuers im stationären Schwebezustande, flog er also horizontal mit gleichförmiger Geschwindigkeit, so war der Auftrieb genau gleich dem Abtriebe, d. i. dem Gesamtgewichte des schwebenden Systems. Bei jeder Zunahme des Auftriebes muß deshalb die Masse des Flugkörpers eine Beschleunigung lotrecht nach oben annehmen, der Drachenflieger wird sich allmählich auf ein höheres Niveau erheben. Im stationären Schwebezustande ist der Vortrieb genau gleich dem Rücktrieb. Wächst der Rücktrieb, so muß die Masse des Flugkörpers eine Verzögerung erfahren, die Fluggeschwindigkeit muß abnehmen. Die

Digitized by Google

Steuerdrehung hat also zur Folge, daß der Flugkörper schräg aufsteigt, wobei aber gleichzeitig seine horizontale Geschwindigkeit abnimmt. Dies bewirkt, daß auch der Auftrieb kleiner wird. Sowie dieser gleich dem Abtrieb geworden ist, hört die Steigbewegung auf. Wird aber gleichzeitig mit der Steuerdrehung der Vortrieb um ebenso viel erhöht, als die Vergrößerung des Rücktriebes infolge der Zunahme der Schiefe beträgt, so bleibt auch die Horizontalkomponente der Geschwindigkeit ungeändert und der Flugkörper wird imstande sein, dauernd aufzusteigen. Die Steiggeschwindigkeit wird nach kurzer Zeit einen konstanten Wert annehmen, der abhängig sein wird von dem Überschusse des Auftriebes über den Abtrieb. Das Horizontalsteuer hat also nur den Zweck, die Schiefe der Tragfläche zu vergrößern. Der gleiche Effekt läßt sich erzielen durch Verlegung des Schwerpunktes nach rückwärts. Diese Verlegung kann durch Verschiebung des Motors, der Gondelinsassen oder der ganzen Gondel in longitudi-

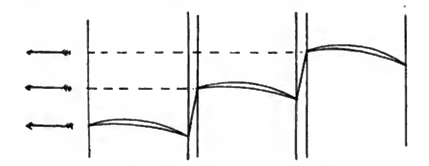


Fig. 186. Tragflächenanordnung.
Günstigste Anordnung nach Maxim. Raum zwischen den Tragflächen gleich dem von den Flächenkörpern eingenommenen Volumen; es tritt keine Luftpressung ein.

naler Richtung erreicht werden. Ohne gleichzeitige Vergrößerung des Vortriebes, ist ein dauernder Steigflug nicht möglich. Auch durch die bloße Erhöhung des Vortriebes, kann man dem Flugkörper eine Steiggeschwindigkeit erteilen.

Die Geschwindigkeit beim stationären Horizontalflug nennen wir die kritische Flugschwindigkeit, ebenso sollen die zugehörigen Auf- und Vortriebswerte als kritischer Auftrieb, bzw. kritischer Vortrieb bezeichnet werden. Wird der Vortrieb größer als der kritische Vortrieb, so steigt auch die Geschwindigkeit über den kritischen Wert und es wächst gleichzeitig der Auftrieb über den kritischen Betrag. Die Folge ist, daß ein freier Auftrieb entsteht, welcher der Masse des Flugkörpers eine Beschleunigung im lotrechten Sinne erteilt. Der Drachenflieger erhält also auch eine lotrechte Geschwindigkeitskomponente, welche sich mit der horizontalen zu einer schräg aufwärts gerichteten Steiggeschwindigkeit vereinigt.

Verringert man den Vortrieb, so daß er kleiner wird als der kritische Wert, sinkt auch die Geschwindigkeit unter den kritischen Betrag; die Folge ist auch eine Verringerung des Auftriebes. Sowie dieser unter den kritischen Wert sinkt, tritt ein freier Abtrieb auf, welcher der Masse des Flugkörpers eine Beschleunigung lotrecht

Digitized by Google

nach unten erteilt. Der Apparat nimmt also eine lotrechte Sinkgeschwindigkeit an, welche sich mit der Horizontalkomponente zu einer schräg nach abwärts gerichteten Geschwindigkeit zusammensetzt. Der Flugkörper wird sich in schräger Bahn senken. Die Höhensteuerung mittels des Propellers allein, ist wohl die ökonomischeste, sie wirkt aber nur langsam und ist für sehr rasche Höhenänderungen nicht geeignet. Wo eine möglichst geschwinde Niveauänderung notwendig ist, wie etwa bei der Überfliegung eines entgegenstehenden Hindernisses ist ein kräftig wirkendes Höhensteuer oder eine erhebliche Verlegung des Schwerpunktes notwendig. Da die Änderung der Schwerpunktslage auch gleichzeitig die longitudinale Stabilisierung beeinflußt, erscheint

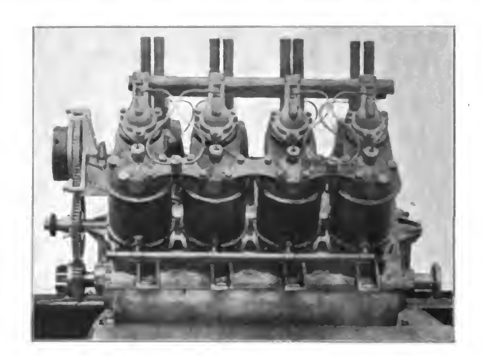


Fig. 187. Benzinmotor von Levavasseur. „Antoinette"-Type.
Leistung 35 Pferdekräfte. (Nach einer Originalphotographie von Ferber.)

es nicht zweckmäßig, die Lage des Schwerpunktes zum Zwecke der Höhensteuerung zu ändern, sondern man wird der Anwendung eines Höhensteuers den Vorzug geben. Aus dem gleichen Grunde dürfte es sich nicht empfehlen, das Steuer, welches zur longitudinalen Stabilisierung dient, gleichzeitig auch zur Höhensteuerung zu verwenden. Zur Steuerung in horizontalem Sinne, dient gewöhnlich ein in der Medianebene an der Tergalseite angebrachtes Vertikalsteuer. Die Wirkung des Vertikalsteuers ist leicht verständlich. Der Flugkörper soll z. B. von seinem Kurse nach rechts gesteuert werden. Dann muß das Steuer so gedreht werden, daß es auf der Seite, nach welcher die Kursabweichung erfolgen soll, einen Überdruck erfährt. In unserem Falle hätte die Drehung so zu erfolgen, daß die Hinterkante der Steuerfläche rechts von der Medianebene zu liegen kommt. Erfolgt der Vortrieb durch ein Propellerpaar, so kann die Horizontalsteuerung auch mittels der Propeller erfolgen. Man braucht zu diesem Zwecke

Digitized by Google

bloß den einen Propeller langsamer laufen zu lassen als den zweiten. Die Kursabweichung wird immer nach der Seite erfolgen, auf welcher der langsamer laufende Propeller liegt, der einen geringeren Vortrieb gibt.

6. Motore für Drachenflieger.

Wie bei allen Flugvehikeln, spielt natürlich auch beim Drachenflieger das spezifische Motorgewicht, d. i. das Gewicht des Motors pro Pferdekraft geleisteter Arbeit, eine wichtige Rolle. Man wird deshalb, unter sonst gleichen Umständen, stets dem leichtesten Motor

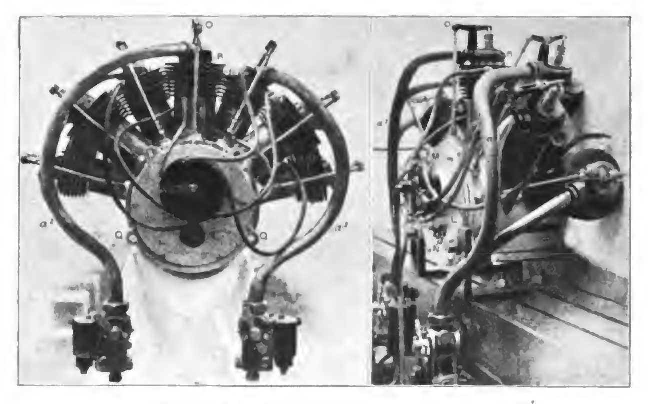


Fig. 188 a. Benzinmotor von Esnault-Pelterie.

Sieben Zylinder, Leistung 35 Pferdekräfte. Gewicht komplett 52 Kilogramm bei 1500 Touren. Links Ansicht von vorne, rechts von der Seite. (Aus „Omnia" von Baudry de Saunier.)

den Vorzug geben. In das Gewicht des Motors, müssen natürlich auch alle Bestandteile eingerechnet werden, die zu seiner Funktionierung notwendig sind. Bei einem Dampfmotor wären also auch Kessel, Feuerung, Speisewasser, Kondensator und Heizmaterial einzurechnen, bei einem Explosionsmotor (Benzin-, Gasmotor) der Gaserzeuger, Karburator und Kühlwasser. Bei einem Elektromotor müßte auch das Gewicht des Stromerzeugers, Primär- oder Sekundärbatterie (Akkumulator) eingerechnet werden. Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, stellt gegenwärtig der Benzinmotor die leichteste der bekannten Motortypen dar. Soll ein Bezinmotor für den Antrieb von Flugmaschinen brauchbar sein, so muß derselbe möglichst stoßfrei laufen, die bewegten Massen müssen gut ausbalanciert sein. Da schwere Schwungräder nicht in Anwendung kommen können, muß die Zylinder-

Digitized by Google

zahl vermehrt werden. Man wendet Benzinmotore mit 4, 8 und mehr Zylindern an. Auch Dampfmotore lassen sich sehr leicht bauen. Wegen des erheblichen Gewichtes des Kessels und des für längere Fahrten notwendigen Dampfkondensators, fällt aber das spezifische Motorgewicht einer Dampfmaschine dennoch wesentlich größer aus als das eines Benzinmotors. Noch ungünstiger sind die Verhältnisse derzeit beim Elektromotor.

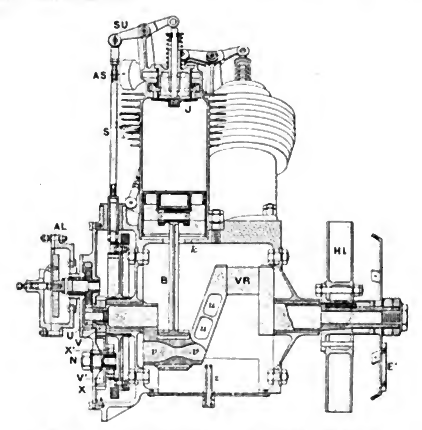


Fig. 188 b. Benzinmotor von Esnault-Pelterie.
Schnitt durch einen Zylinder. Aus „Omnia".

7. Flugvermögen des Drachenfliegers.

Die Aufgabe des Motors ist, einen Vortrieb zu erzeugen. Soll der Drachenflieger einen stationären Schwebeflug ausführen können, so muß der Vortrieb den kritischen Wert erreichen; ist dies nicht der Fall, so kann der Drachenflieger, wie schon dargelegt wurde, wohl längere oder kürzere Luftsprünge ausführen, ein dauernder Horizontalflug ist aber nicht möglich. Ist eine bestimmte Drachenfliegerkonstruktion gegeben, so hängt deren Flugvermögen außer vom spezifischen Motorgewichte auch wesentlich ab vom spezifischen Vortrieb, d. i. pro Kilogramm des gesamten Motorgewichtes. Dieser ist aber wieder bedingt durch die Konstruktion des Propellers. Je günstiger der Propeller gebaut ist, um so größer wird, unter sonst gleichen Umständen, sein spezifischer Vortrieb sein. Von der Güte des Propellers hängt aber auch die zur Erzeugung des kritischen Vortriebes nötige Motorarbeit ab. Das Verhältnis des gesamten Propellervortriebes zur Motorleistung wollen wir als Charakteristik des Propellers bezeichnen;

Digitized by Google

sie gibt den Propellervortrieb pro Pferdekraft der Motorleistung an. Das Verhältnis der Motorleistung zu seinem Gewichte heiße die Charakteristik des Motors, sie ist der reziproke Wert des spezifischen Motorgewichtes. Nun wollen wir noch das Gewicht des Motors und das Gewicht der Propeller samt allen Übertragungsmechanismen und Versteifungen, welche mit dem Einbau des Motors und Propellers in den Apparat nötig werden, zusammenfassen und als Gewicht des Trieb-

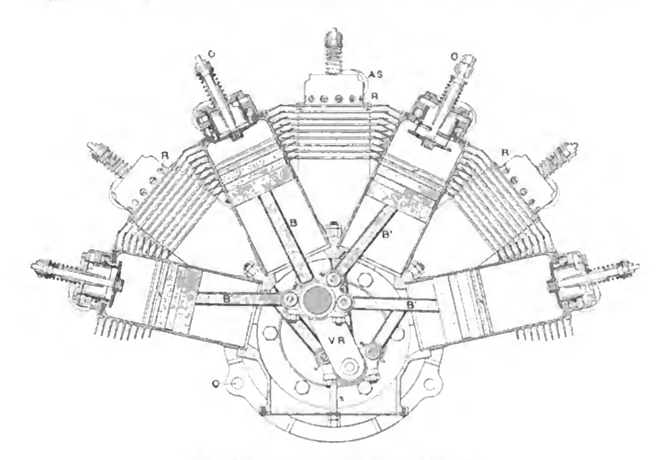


Fig. 188c. Motor von Esnault-Pelterie.
Schnitt durch die Gruppe der vier Zylinder. Aus „Omnia".

werkes bezeichnen. Das Verhältnis des gesamten Vortriebes zum Gewichte des Triebwerkes heiße die Charakteristik des Triebwerkes. Soll das Flugvermögen eines gegebenen Drachenfliegers möglichst groß werden, so muß die Charakteristik des Triebwerkes einen maximalen Wert erlangen. Das Flugvermögen eines gegebenen Drachenfliegers, der trotz hinreichender Stabilisierung bloß Luftsprünge ausführt, aber nicht fähig ist, zum stationären, horizontalen Flug, kann also nach zwei Richtungen hin verbessert werden. Man kann entweder die Charakteristik des Motors vergrößern, indem man einen leichteren Motor nimmt, oder durch Verbesserung der Güte des Propellers dessen Charakteristik zu erhöhen suchen. Erst wenn diese Verbesserungen noch nicht hinreichen, den Apparat flugfähig zu machen, muß an den Umbau der Tragflächen- und Rumpfkonstruktion geschritten werden. Außer von den bisher in Betracht gezogenen Umständen, hängt das Flugvermögen noch wesentlich ab von der Konstruktion der Trag-

Digitized by Google

flächen und des Rumpfes. Zur Charakterisierung der hier maßgebenden Umstände dienen folgende Größen. Die spezifische Flächenbelastung, der auf ein Quadratmeter der ganzen Tragfläche entfallende Teil des Gesamtgewichtes des Apparates. Der reziproke Wert davon ist die spezifische Tragfläche, d. i. pro ein Kilogramm des Apparatgewichtes. Der spezifische Auftrieb und der spezifische Rücktrieb, d. i. pro ein Kilogramm des Gesamtgewichtes des Drachenfliegers. Wenn ein gut stabilisierter Drachenflieger nicht flugfähig ist, so liegt der Mangel immer darin, daß der Apparat nicht imstande ist, die kritische Schwebegeschwindigkeit zu erreichen.

Ohne Änderung der Tragflächen- und Rumpfkonstruktion ist eine Erhöhung der Geschwindigkeit nur zu erzielen durch Vergrößerung des Vortriebes. Läßt sich die Charakteristik des Triebwerkes nicht weiter erhöhen, müssen die Dimensionierungen des Apparates entsprechend geändert werden. Wird durch leichteren Bau des Tragflächen- und Rumpfgerüstes die Flächenbelastung kleiner gemacht, so sinkt damit zugleich die kritische Geschwindigkeit. Reichen auch diese Verbesserungen noch nicht hin, den Apparat flugfähig zu machen, so muß auch noch der Wirkungsgrad der Tragflächen und Rumpfkonstruktion verbessert werden. Ein Maß für die Güte der Tragflächen- und Rumpfkonstruktion bilden der spezifische Auftrieb und der spezifische Rücktrieb. Das Verhältnis der ersten zur zweiten Größe heiße die Charakteristik des Tragwerkes (Drachenflächen samt Apparatrumpf), sie stellt zugleich die Tangente des Winkels zwischen der Reaktante und der durch den Reaktionspunkt gehenden Lotlinie dar. Dieser Winkel heiße die Deklination der Reaktante und werde positiv oder negativ gerechnet, je nachdem die Reaktante tergal oder frontal von der Lotlinie durch den Reaktionspunkt fällt. Bei einem realen Drachenflieger ist die Deklination beim stationären Horizontalflug immer positiv, beim Gleitflug negativ, ebenso muß sie negativ sein beim Fluge der Segelflieger, diese können deshalb auch ohne Aufwendung innerer Energie sich dauernd in der Luft erhalten. Bei negativer Deklination geht also der Rücktrieb der Reaktante in einen Vortrieb über. Jede Verringerung der Deklination bedeutet eine Verbesserung der Güte des Tragwerkes und hat eine Verminderung der kritischen Geschwindigkeit zur Folge. Die Verkleinerung der Deklination erfolgt bei einer Verminderung des Rücktriebes oder Vermehrung des Auftriebes oder auch durch gleichzeitige Änderung beider Größen im günstigen Sinne. Tragflächen mit ebenen und gewölbten Longitudinalschnitten, geben verschiedene Deklinationswinkel. Diese wenigen Andeutungen genügen, um den Einfluß der verschiedenen maßgebenden Umstände auf das Flugvermögen für jeden konkreten Fall klar zu übersehen. Die effektive Flugarbeit eines Drachenfliegers setzt sich aus Rücktrieb und kritischer Fluggeschwindigkeit zusammen. Der Rücktrieb ist aber bestimmt durch den Auftrieb und die Tangente der Deklination. Im stationären Horizontalflug muß der Auftrieb der Reaktante gleich sein dem gesamten Abtrieb, d. i. dem Apparatgewichte. Es wirkt recht aufklärend, wenn man sich die Analogie klar macht, die zwischen der Inklination und dem Reibungswinkel besteht. Dieser stellt den Winkel dar, welchen man einer schiefen

Digitized by Google

Ebene aus einer bestimmten Substanz geben muß, damit ein auf ihr ruhender Körper unter der Wirkung seines Gewichtes in Bewegung gerät. Bei der Fortbewegung über den ebenen Boden stellt die Tangente des Reibungswinkels den Bruchteil der Last dar, welche als horizontal wirkende Kraft genügt, um den Körper in Bewegung zu zu setzen. Ebenso gibt die Tangente der Deklination den Bruchteil der Last dar, welche als Kraft horizontal wirkend an dem Flugkörper anzubringen ist, um diesen dauernd im Schwebezustande zu erhalten. Der Reibungswinkel ist bloß von der physikalischen Natur der aneinander geriebenen Substanzen abhängig, hat also für eine bestimmte Unterlage und einen gegebenen Körper einen fixen Wert. Die Deklination ist aber außer von der physikalischen Natur der Unterlage (Luft) auch noch wesentlich abhängig vom Bau und der Konstruktion der Tragfläche. Es ist deshalb auch nicht möglich, durch irgendwelche allgemeine Untersuchungen numerische Werte für die Flugarbeit einer konkreten Drachenfliegerkonstruktion zu berechnen. Es liegen noch zu wenig Erfahrungsdaten vor, für eine einigermaßen zuverlässige Schätzung der Deklination. Man ist deshalb bei jeder neuen Type auf die empirische Ausprobierung angewiesen.



Digitized by Google

III. Teil.

Theoretische Flugtechnik.

Zur experimentellen Aerodynamik (Luftwiderstand und Winddruck).

Wir wollen streng unterscheiden zwischen Luftwiderstand und Winddruck. Als Luftwiderstand bezeichnen wir den Überdruck gegen die Stirnseite in ruhiger Luft bewegter Körper und als Winddruck den Überdruck gegen die Vorderseite eines vom Winde getroffenen Körpers. Bewegt sich ein Körper in strömender Luft, so treten Winddruck und Luftwiderstand gleichzeitig auf. Man hat bisher meist beide Probleme als identisch aufgefaßt und gemeint, das eine ließe sich in das andere einfach mit Benützung des Prinzipes der relativen Bewegungen überführen. Wir werden sehen, daß die Phänomene des Luftwiderstandes und des Winddruckes nicht reversible Prozesse sind.

Der Luftwiderstand.

Der Luftwiderstand tritt bei allen Bewegungen in der Atmosphäre als beschleunigungsbestimmender Umstand, als Kraft, auf, er ist also physikalisch definiert durch die Dimension $m\ l\ t^{-2}$ und mechanisch eindeutig charakterisiert durch Größe, Richtung und Angriffspunkt.

Wir können die Größe des Luftwiderstandes gegen einen gegebenen Körper auf statischem Wege messen, indem wir diesen mit konstanter Geschwindigkeit durch die Luft treiben und den Druck der Luft gegen ihn durch Gewichte oder Federn bestimmen, oder nach der dynamischen Methode, indem wir die Geschwindigkeitsänderungen des Körpers unter dem Einfluß des Luftwiderstandes verfolgen. Statisch erfolgt die Messung bei den Rundlaufapparaten. Der Körper wird an einem horizontalen Arme fixiert und diesem eine gleichförmige Rotationsbewegung erteilt. Dynamisch wird der Luftwiderstand gemessen, indem man den Körper frei fallen oder als Pendel schwingen läßt; man kann dem Versuchskörper auch eine bestimmte Geschwindigkeit erteilen und deren Änderung mit der Zeit messen. Am häufigsten wurde bisher die Rundlaufmethode angewandt. Die erhaltenen Werte können aber nur dann als einigermaßen dem wirklichen Luftwiderstand in der freien Atmosphäre entsprechend angesehen werden, wenn der Radius der Kreisbahn genügend groß ist, so

Digitized by Google

daß man den Einfluß der Rotationsbewegung nahezu vernachlässigen kann. Dieser Forderung entsprachen bisher bloß die Versuche von Langley und Maxim. Langley hat in seinem Werke „Experiments in Aerodynamics" die Ergebnisse seiner großangelegten Versuche

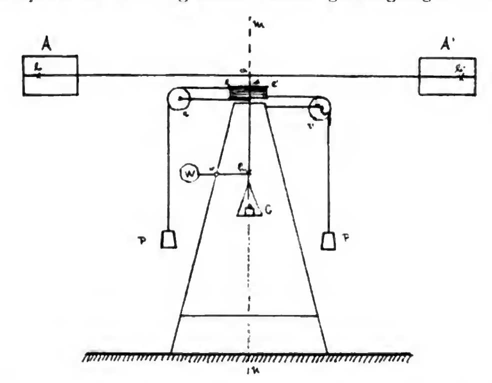


Fig. 189. Rundlaufapparat zur Messung des Luftwiderstandes nach Lilienthal.

Versuchsflächen A, A' an den Enden eines horizontalen Hebelarmes angebracht, der um eine lotrechte Achse mit möglichst geringer Reibung rotieren kann. Unteres Ende der Achse in h gegen einen Hebel drückend, dessen Drehpunkt in o ist und dessen zweiter Arm mit einem Gewichte W belastet ist, das gleich ist dem Gewichtsdrucke des ganzen rotierenden Systems. Um eine auf der Rotationsachse sitzende Rolle ist eine Schnur gewunden, welche über die beiden Rollen r und r_1 geführt ist und an den Enden die gleichen Gewichte P, P trägt. Läßt man die Gewichte frei fallen, so drehen sich die Flächen mit zunehmender Geschwindigkeit um die Achse, bis das Drehmoment des Luftwiderstandes gegen die Flächen A, A' gleich geworden ist dem Drehmoment der Fallgewichte. Von da ab bleibt die Rotationsgeschwindigkeit konstant. Ist b der Druckmittelpunkt des Luftwiderstandes, ba der Hebelarm des Widerstandes ed der Radius der Rolle, so ist, von der Reibung abgesehen, die Gleichgewichtsbedingung $W . ba = P . ed$, wenn W die Größe des Luftwiderstandes bezeichnet. Die Größen P, ba und ed sind durch die Konstruktion des Apparates bestimmt und können leicht gemessen werden. Die Rotationsgeschwindigkeit, bei welcher der Gewichtsfall gleichförmig ist, kann gleichfalls durch Zählung der Umdrehungen leicht bestimmt werden. Durch Anhängung von verschiedenen Gewichten P kann die Umlaufgeschwindigkeit vergrößert oder verkleinert werden. Bestimmt man die Größe des Luftwiderstandes bei verschiedenen Umlaufsgeschwindigkeiten, so erhält man das Gesetz der Abhängigkeit des Luftwiderstandes von der Geschwindigkeit. Um die Wirkungen der Zentrifugalkraft auf die Luft tunlichst klein zu machen, sind möglichst große Hebelarme anzuwenden.

über den Luftwiderstand in extenso publiziert; diese bilden derzeit die Grundlage unserer Kenntnisse über die Gesetze des Luftwiderstandes bei Geschwindigkeiten bis zu 30 Meter pro Sekunde.

Größe des Luftwiderstandes. Eine allgemeine rationelle Formel, nach welcher der Luftwiderstand für einen beliebigen Körper gefunden

Digitized by Google

werden könnte, gibt es nicht. Wir müssen uns deshalb mit empirischen Formeln begnügen, die immer nur innerhalb der experimentell festgelegten Grenzen Gültigkeit besitzen. Die Größe des Luftwiderstandes hängt, wie schon die alltägliche Erfahrung lehrt, wesentlich ab von der Geschwindigkeit der Bewegung, den Dimensionen und der Form des Körpers.

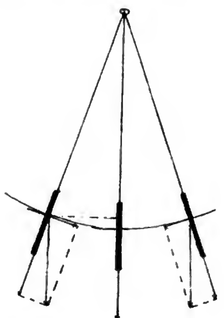


Fig. 190. Bestimmung des Luftwiderstandes mittels Pendelschwingungen.
Man läßt den Versuchskörper in einem möglichst großen Kreisbogen schwingen und bestimmt die nach einer gewissen Anzahl von Schwingungen zurückgelegten Bogenlängen. Die treibende Kraft bildet die senkrecht zur Flächenebene stehende Komponente des Gewichtsdruckes G, d. i. also $G \sin \varphi$, wenn φ der Elongationswinkel im betrachteten Punkte ist. Schwingt der Körper von a bis b, so senkt sich der Schwerpunkt um die Strecke bd. Die Abnahme der potentiellen Energie im Betrage $G.bd$ wird, von der Reibung abgesehen, zur Überwindung des Luftwiderstandes verwendet. In b wird die treibende Kraft $= 0$, der Körper bewegt sich verzögert nach c, bis durch den Luftwiderstand und die verzögernde Kraft der Schwerkraftkomponente $G.\sin \varphi$ die Geschwindigkeit aufgezehrt ist. Die genauere Berechnung des Luftwiderstandes nach der Pendelmethode erfordert weitläufige Berechnungen, auf die hier, wo es sich bloß um die Darlegung der Methode handelt, nicht näher eingegangen werden kann.

Bei den in der Flugtechnik in Betracht kommenden Geschwindigkeiten wächst der Luftwiderstand erfahrungsgemäß proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit. Bei sehr kleinen Geschwindigkeiten kann der Luftwiderstand proportional gesetzt werden der ersten Potenz der Geschwindigkeit und bei sehr großen Geschwindigkeiten, welche die Schallgeschwindigkeit (330 m / sec) erreichen oder übersteigen, einer Potenz zwischen 3 und 5. Auch bezüglich der Abhängigkeit des Luftwiderstandes von den Dimensionen des bewegten Körpers konnte bisher kein allgemeines Gesetz aufgestellt werden. Die einfachste Abhängigkeit ist jene der direkten Proportionalität. Wir setzen also die Größe des Luftwiderstandes proportional der Fläche des größten Querschnittes des Körpers senkrecht zur Bewegungsrichtung. Weiters ist der Luftwiderstand abhängig von der Dichtigkeit der Luft, also auch von Druck und Temperatur der Atmosphäre. Ist v die

Digitized by Google

Geschwindigkeit in Meter per Sekunde, Q der größte Querschnitt senkrecht zur Bewegungsrichtung in Quadratmeter, γ die augenblickliche Dichtigkeit der Atmosphäre in Kilogramm pro Kubikmeter, g die Beschleunigung der Schwere in Meter per Sekunde und k eine Erfahrungszahl, so ist die Größe des Luftwiderstandes W in Kilogramm in erster Annäherung bestimmt durch

$$W = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot Q \cdot v^2 \; (kg). \tag{1}$$

Die Zahl k heißt der Widerstandskoeffizient. Dieser ist nicht eine absolute Konstante, sondern im allgemeinen noch eine Funktion von v und Q; ferner von der Länge des Körpers parallel zur Bewegungsrichtung usf. Da das Gesetz dieser Abhängigkeiten derzeit nicht genauer bekannt ist und die Änderungen von k mit v und Q langsam erfolgen, kann man k für gewisse Untersuchungen auch einfach als Konstante behandeln. Der Wert von k wird um so kleiner, je zuge-

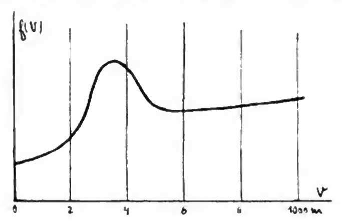


Fig. 191. Änderung des Widerstandskoeffizienten der Luft mit zunehmender Geschwindigkeit.

Auf der Abszissenachse die Geschwindigkeiten aufgetragen, auf der Ordinatenachse die Funktion $f(v)$. Die gezeichnete Kurve gibt nach Soreau ein ungefähres Bild von der Änderung des Widerstandskoeffizienten mit der Translationsgeschwindigkeit.

spitzter die Form des Körpers ist; er ist bei einer Kugel, unter sonst gleichen Umständen, kleiner als bei einem Würfel, bei einem Kegel wieder kleiner als bei einer Kugel usf.

Bei plattenförmigen Körpern, die wir auch einfach als Flächen bezeichnen, läßt sich der Luftwiderstand gleichfalls in Form schreiben

$$W = \varkappa \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v^2 \; (kg) \tag{2}$$

wenn $\varkappa$ wieder eine Erfahrungszahl und F das Areal der Fläche bezeichnet. Bewegt sich die Fläche senkrecht zu ihrer Ebene, so ist der Widerstandskoeffizient $\varkappa$ außer von F und v noch abhängig von der Form der Fläche. Am kleinsten ist k, unter sonst gleichen Umständen, bei einer kreisförmigen Fläche, größer bei einem Quadrat, und am größten bei einem sehr schmalen Rechtecke. Bei kreisförmigen Flächen ist nach den Messungen F. v. Loessls k = 0·83, für das Quadrat 0·86, Dreieck 0·90, Rechteck (Seitenverhältnis 2 : 1) 0·92, Rechteck (4 : 1) 0·94. Bei sehr schmalen Rechtecken nähert sich also

Digitized by Google

$\varkappa$ dem Werte 1. Die Abhängigkeit des Widerstandskoeffizienten von F und v muß, mangels zureichender Versuche, vernachlässigt werden. Wir betrachten also $\varkappa$ als relative Konstante.

Die Schwerebeschleunigung g ist in geringem Maße abhängig von der Lage des Beobachtungsortes und der Erhebung über das Meeresniveau, kann aber für die gewöhnlichen aerodynamischen Messungen als absolute Konstante behandelt werden. In der Breite von 45 Grad ist im Meeresniveau $g = 9{\cdot}81\ m|\text{sec}$. Das Gewicht der Volumseinheit Luft ist außer von der Temperatur, dem Druck und der Luftfeuchtigkeit auch noch so wie g in geringem Maße abhängig von

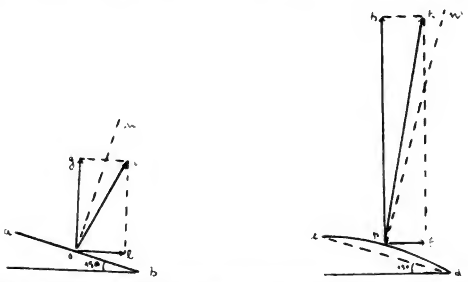


Fig. 192 a, b. Luftwiderstand bei ebenen und gewölbten Flächen nach Lilienthal.
a) Bei ebenen Flächen fällt die Mittelkraft i hinter die Normale im Druckmittelpunkte o; b) bei gewölbten Flächen vor die Normale pn zur Flächensehne cd. Größe und Richtung der Kräfte nach Lilienthals Messungen für eine Schiefe von 15°. Aus Lilienthals: „Der Vogelflug etc." Es wurde schon darauf hingewiesen, daß die Messungsresultate Lilienthals einer Korrektur bedürfen, weil Lilienthal nicht mit freien Systemen operierte und von der unzulässigen Voraussetzung ausging, daß der Druckmittelpunkt bei ebenen und gewölbten Flächen mit dem geometrischen Mittelpunkte der Fläche zusammenfalle.

der Lage des Beobachtungsortes an der Erdoberfläche und von der Seehöhe. Die letzten drei Einflüsse können für die derzeit in Betracht kommenden Genauigkeitsgrade vernachlässigt werden. Ist γ^0 die Dichte der Luft beim Druck p^0 und der Temperatur t^0, so folgt die Dichte γ beim Druck p und der Temperatur t nach der Boyle-Charlesschen Formel aus

$$\gamma = \gamma_0 \frac{p}{p_0} \cdot \frac{273 + t_0}{273 + t}. \qquad (3)$$

Für $p|p_0$ können wir auch das Verhältnis der Barometerstände in Quecksilberhöhen $b|b_0$ setzen. Beim Druck $b_0 = 760$ Millimeter und der Temperatur 0 Grad ist am Meeresniveau in 45 Grad Breite das Gewicht von 1 Kubikmeter trockener Luft $\gamma_0 = 1 \cdot 293$ Kilogramm: damit erhalten wir

0·464

$$\gamma = 0{\cdot}927 \cdot \frac{b}{273 + t}.$$

Digitized by Google

Differenzieren wir den Ausdruck nach b und t, so folgt

$$d\gamma = \frac{0\cdot927}{273 + t}\,db - \frac{0\cdot927\,.\,b}{(273 + t)^2}\,dt.$$

Wenn wir die Luftwiderstandsformel (1) nach γ differenzieren

$$dW = \frac{W}{1\cdot293}\,.\,d\gamma.$$

Für $d\gamma$ den Wert aus (2) eingesetzt:

$$dW = \frac{0\cdot359}{273 + t}\left(db - \frac{b\,d\,t}{273 + t}\right).\,W.$$

Daraus folgt bei konstantem Druck $dW = -0\cdot0036\,dt$ und bei konstanter Temperatur $dW = 0\cdot0013\,db$. Eine Druckänderung von 1 Millimeter hat demnach eine Änderung des Widerstandes im gleichen

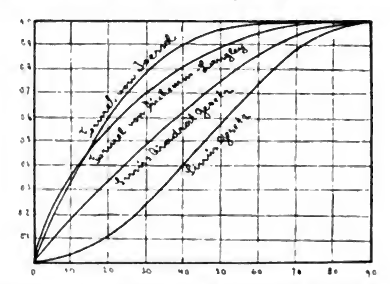


Fig. 193. Diagramm zur Darstellung des Luftwiderstandes bei schrägem Luftstoß.

Auf der Abszissenachse die Luftstoßwinkel aufgetragen, auf der Ordinatenachse das Verhältnis $W_i \mid W_{90}$ der Resultierenden des Widerstandes beim Einfallswinkel i zum Widerstande W_{90} bei normalem Luftstoß.

Sinne um 0·1 Prozent zur Folge, eine Temperaturänderung von 1 Grad bewirkt eine Druckänderung im entgegengesetzten Sinne um nahe 0·4 Prozent.

Für eine quadratische ebene Platte von 1 englischen Quadratfuß (gleich 0·0929 Quadratmeter) fand Langley nach zwei verschiedenen Methoden bei Geschwindigkeiten von 7 bis 30 Meter als Mittelwerte von $f = k\,.\,\frac{\gamma}{g}$, d. i. den Druck reduziert auf eine Fläche von 1 Quadratmeter und die Geschwindigkeit von 1 Meter pro Sekunde $\varkappa = 0\cdot080$ und $\varkappa = 0\cdot087$ Kilogramm (bezogen auf die Temperatur 10 Grad und den Druck von 736 Millimeter). Reduziert man diese Werte auf 0^0 und 760 Millimeter, so folgt $k^{760} = 0\cdot085$ | bzw. 0·092. Nimmt man die Wertigkeit beider Mittel als gleich an, so wird $km = 0\cdot088\ kg/1\ m^2$. Andere Experimentatoren fanden erheblich davon abweichende Werte,

Digitized by Google

bis zu 40 Prozent größere, und bis zu 20 Prozent kleinere Werte. Wegen der prinzipiell einwandfreien Form der Durchführung der Versuche, der unter Anwendung aller Finessen der physikalischen Experimentierkunst ausgeführten Reduktion und der extenso Publikation aller Beobachtungsresultate muß den Langleyschen Zahlen der Vorzug vor allen bisher gefundenen gegeben werden.

Erfolgt die Bewegung nicht senkrecht zur Fläche, so ist der Widerstand auch abhängig von der Schiefe der Fläche, dem Winkel α zwischen Bewegungsrichtung und Flächenebene. Beim schiefen Luftstoß ist also der Luftwiderstand auch eine Funktion der Schiefe, d. i. des Winkels α. Man hat früher die Winkelfunktion nach Newton in der Form $\sin^2 \alpha$ geschrieben. Es wurde aber von Duchemin, Goupil, Langley, v. Loessl u. a. nachgewiesen, daß die einfache Sinusfunktion zutreffender ist. Für ganz geringe Schiefstellungswinkel (kleiner als etwa 10 Grad), die in der praktischen Flugtechnik die Hauptrolle spielen, liegen bisher nur sehr wenige Bestimmungen vor. Es ist deshalb nicht erwiesen, daß die einfache Sinusfunktion auch für ganz kleine Winkel zutrifft. Nach Langleys Messungen, die sich bis zu Winkeln von 5 Grad erstrecken, wächst der Widerstand mit abnehmendem Winkel rascher, als der einfachen Sinusfunktion entspricht. Langley hat auch gefunden, daß die schon von Duchemin nach den Messungen von Thibault aufgestellte Winkelfunktion $2 \sin \alpha / (1 + \sin^2 \alpha)$ sich am besten seinen Versuchsergebnissen für Neigungswinkel von 7 bis 30 Grad anschließt. Bei Winkeln bis zu 10 Graden gibt die einfache Sinusfunktion fast genau um die Hälfte kleinere Widerstandswerte als die Langleysche Formel. Dies beachtend, kann man, wo es auf die genauere Form der Winkelfunktion nicht ankommt, die einfachere Sinusfunktion setzen und den Widerstand bei der Flächenschiefe α also in der Form schreiben

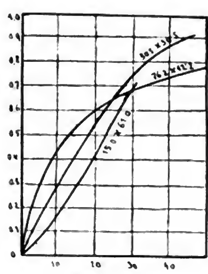


Fig. 194.
Diagramm der Abhängigkeit des Luftwiderstandes von der Exposition der Fläche F. Verschiedene Flächenformate nach Langleys Messungen.

Auf der Abszissenachse Einfallswinkel in Graden aufgetragen, auf der Ordinatenachse, Verhältnis W_i/W_{90} des Widerstandes W_{90} bei senkrechtem Einfall zum Widerstande beim Winkel i. Die den Kurven beigeschriebenen Zahlen geben die zugehörigen Flächenformate in *cm* an.

$$W_\alpha = \sin \alpha \cdot W_{90} \qquad (4)$$

wenn W_{90} den Widerstand beim senkrechten Luftstoß bezeichnet oder nach Gl (2) auch

$$W_\alpha = \varkappa \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v^2 \cdot \sin \alpha. \qquad (5)$$

Dabei ist aber zu beachten, daß $\varkappa$ auch von der Exposition der Fläche abhängt, d. i. von dem Verhältnis der Dimensionen der Fläche parallel und senkrecht zur Bewegungsrichtung. Der Widerstandskoeffi-

Digitized by Google

zient wächst, unter sonst gleichen Umständen, mit der Vergrößerung der Dimension der Fläche senkrecht zur Bewegungsrichtung.

Langley suchte durch messende Versuche an verschiedenem Format den Einfluß der Flächenexposition quantitativ zu bestimmen. Soreau hat auf Grund eigener Versuche im Wasser und von theoretischen Erwägungen ausgehend, für den Einfluß der Exposition (allongement) folgende Formel aufgestellt:

$$\frac{W_{\alpha}}{W_{90}} = \sin \alpha \left[1 + \frac{1 - m \operatorname{tg} \alpha}{\frac{1}{(1+m)^2} + 2\, m \operatorname{tg} \alpha + 2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \right].$$

Dabei ist $m = (l - h)/(l + h)$ und bezeichnet 2 l die Flächenlänge in transversaler Richtung (senkrecht zur Flugrichtung) und 2 h die Flächenlänge in longitudinaler Richtung (parallel zur Flugrichtung). Die Soreausche Formel gibt die von Langley experimentell gefundenen Werte mit großer Annäherung wieder. Für quadratische Flächen ist $m = 0$ und man erhält die Ducheminsche Formel.

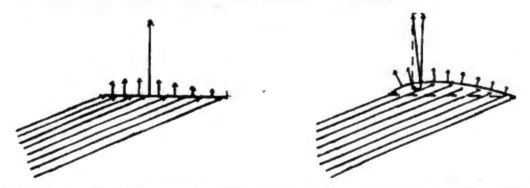


Fig. 195 a, b. Schematische Darstellung der Elementardrucke, der Mittelkraft und des Angriffspunktes des Luftwiderstandes beim schiefen Luftstoß gegen ebene Flächen (a) und gegen gewölbte Flächen (b).

Beim schiefen Luftstoß gegen ebene Flächen fällt ersichtlich der Angriffspunkt der Mittelkraft in die Flächenebene, bei gewölbten Flächen wird dies im allgemeinen nicht der Fall sein. Auf diesen Umstand ist bei Messungen mit gewölbten Flächen Rücksicht zu nehmen.

Das Gesetz der Abhängigkeit des Widerstandes von der Dimensionierung der bewegten Flächen konnte bisher nicht aufgefunden werden. Es liegen noch zu wenig Beobachtungen vor.

v. Loessl hält auf Grund seiner Versuche mit Flächen bis zu 2 m² Inhalt das Gesetz der direkten Proportionalität für allgemein erwiesen, was gewiß nicht zutreffend ist. Eine Reihe von Erfahrungen scheint vielmehr dafür zu sprechen, daß der Luftwiderstand pro Flächeneinheit des Querschnittes mit zunehmender Flächengröße abnimmt. Hergesell fand aus Schwingungsversuchen mit großen Kugelkörpern (Ballons) gleichfalls eine Abnahme des Luftwiderstandskoeffizienten mit zunehmender Flächengröße.

Außer von den bisher genannten Umständen ist der Widerstandskoeffizient auch noch abhängig von der Form der Fläche parallel zur Bewegungsrichtung. Gewölbte Flächen geben andere Widerstandskoeffizienten als ebene. Nach den Versuchen von Phillips, Lilienthal, Hargrave, Wellner u. a. ergeben gewölbte Flächen erheblich



Digitized by Google

größere Widerstandskoeffizienten als ebene, wenn sie mit der konkaven Seite nach vorn durch die Luft bewegt werden.

Größe des Luftwiderstandes bei ungleichförmiger Bewegung. Die bisher gegebenen Formeln gelten bloß für den stationären Bewegungszustand, also bei konstant bleibender Geschwindigkeit. Bei veränderlicher Geschwindigkeit ist der Luftwiderstand auch von der Geschwindigkeitsänderung, also von der Beschleunigung oder Verzögerung der Geschwindigkeit d v/d t abhängig. Didion hat auf Grund von Fallversuchen mit einer ebenen Kreisscheibe folgende Formel für die Abhängigkeit von d v/d t aufgestellt:

$$W = (0{\cdot}036 + 0{\cdot}084\ v^2 \pm 0{\cdot}164\ dv/dt)\ .\ F. \qquad (6)$$

Lilienthal folgert aus Versuchen mit einem großen Flügelwerk von 16 Quadratmeter Fläche eine Vermehrung des Luftwiderstandes bei oszillierenden, flügelschlagartigen Bewegungen bis zum 8 bis 25 fachen Betrage des Druckes bei gleichförmiger Geschwindigkeit. Man darf aber den von Lilienthal gegebenen Zahlenwerten keine quantitative Bedeutung beimessen, da sie nicht das Ergebnis

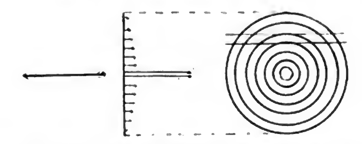


Fig. 196 a. Druckverteilung bei senkrechtem Luftstoß auf einer Kreisfläche. Druckmittelpunkt fällt mit dem geometrischen Mittelpunkt zusammen. Gegen die Ränder nimmt der Druck ab. Auf allen Flächenstreifen parallel zur Translationsrichtung und senkrecht dazu Druckverteilung symmetrisch zur Symmetrieachse.

exakter Messungen sind, sondern bloß auf Grund roher und nicht zuverlässiger Schätzungen aufgestellt wurden. Wenn auch ein Einfluß von Beschleunigungen auf die Größe des Luftwiderstandes a priori als wahrscheinlich angenommen werden muß, bedürfte es doch erst einwandfreier, genauer Messungen, ehe sich entscheiden läßt, von welcher Größenordnung die eintretende Druckvermehrung ist. Ob der oszillierende Flügelpropeller, also die flügelschlagartige Bewegung, einen Vorteil bringt gegenüber dem mit gleichförmiger Geschwindigkeit rotierenden Propeller nach Art der Luftschraube oder des Schaufelrades, läßt sich deshalb auf Grund des bisher vorliegenden Beobachtungsmateriales mit Sicherheit noch nicht entscheiden.

Richtung des Luftwiderstandes. Bei ebenen Flächen steht die Richtung des Luftwiderstandes senkrecht zu deren Ebene, wenigstens bei den flugtechnisch in Betracht kommenden Geschwindigkeiten und Dimensionen. Es folgt dies schon aus den Grundeigenschaften der Flüssigkeiten. Eine Abweichung des Luftwiderstandes von der Flächennormalen wäre bloß die Folge von Tangentialkräften, die parallel zur Flächenebene wirken. Solche Tangentialkräfte könnten nur die Luftreibung oder die Viskosität der Luft bedingen. Der bewegte Körper überzieht sich mit einem feinen Lufthäutchen, das diesem konstant an-

Digitized by Google

haftet. Es kommt also nicht die Reibung zwischen Körperoberfläche und Luft, sondern hauptsächlich jene zwischen diesem Lufthäutchen und der angrenzenden Luft in Betracht. Die innere Reibung der Luft ist aber sehr gering. Nach Maxwell ist die Luftreibung vom Druck unabhängig und wächst ein wenig mit der Temperatur. Der Reibungskoeffizient μ ist gegeben durch

$$\mu = 0{\cdot}000\,1878\,(1 + 0{\cdot}00\,366\,.\,t) \qquad (7)$$

wenn t die Temperatur der Luft bezeichnet. Nach dieser Formel ist die wirkliche Tangentialkraft gegen eine ebene Fläche von 1 Quadratdezimeter, die sich in ihrer Ebene mit einer Geschwindigkeit von 30 Meter pro Sekunde bewegt, nicht größer als 0·12 Dynen oder weniger als 1/50 Prozent des Druckes gegen dieselbe Platte bei Normalbewegung mit der gleichen Geschwindigkeit. Der Einfluß der Luftreibung ist darnach gegenüber dem aus der Beschleunigung der Luftteilchen in der Bewegungsbahn herrührenden Luftwiderstand verschwindend klein. Wenn Lilienthal aus seinen Versuchen mit einem Rundlaufapparate folgert, daß auch bei ebenen Flächen die Richtung des Luftwiderstandes erheblich von der Flächennormalen abweicht,

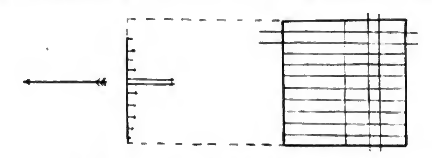


Fig. 196 b. Verteilung des Luftwiderstandes und Druckmittelpunkt bei senkrechtem Luftstoß für quadratische Flächen.

Bewegung in der Pfeilrichtung. Druck symmetrisch um den geometrischen Mittelpunkt verteilt, nimmt nach den Flächenrändern ab. Druckverteilung auf jedem Flächenstreifen parallel und senkrecht zur Bewegungsrichtung symmetrisch um die Symmetrieachse.

muß die Ursache in der unzureichenden Versuchsanordnung gesucht werden. Lilienthal maß nämlich nicht den gesamten Luftwiderstand, sondern bloß dessen lotrechte und horizontale Komponente ohne Berücksichtigung der wahren Lage des Angriffspunktes des Luftwiderstandes. Langley hat auch die Richtung der Resultierenden des Luftwiderstandes unmittelbar bestimmt und keine außerhalb der Genauigkeitsgrenzen des Versuchsapparates fallende Abweichung der Druckrichtung von der Flächennormalen gefunden.

Angriffspunkt des Luftwiderstandes. Wir bezeichnen als Angriffspunkt oder Druckmittelpunkt jenen Punkt, in dem eine dem Luftwiderstande gleiche und entgegengesetzte Kraft angreifen müßte, wenn die völlig freie Fläche keine Änderung ihrer Lage erfahren soll. Bei einer Kreisfläche, die senkrecht zu ihrer Ebene durch ruhige Luft bewegt wird, fällt aus Symmetriegründen der Druckmittelpunkt mit dem geometrischen Mittelpunkt der Fläche zusammen. Wir können uns im Zentrum des Kreises die gesamte Luftwirkung vereinigt denken. Bei Flächen mit einer Symmetrieebene muß beim senkrechten Luft-

Digitized by Google

stoß der Druckmittelpunkt in die Symmetrieebene fallen. Bei regelmäßigen Flächen mit zwei aufeinander senkrechten Symmetrieebenen fällt demnach der Druckmittelpunkt mit dem geometrischen Zentrum zusammen. Bei unregelmäßigen Figuren fällt der Druckmittelpunkt nicht mit dem Schwerpunkte der Fläche zusammen, da die Druckverteilung weder auf der Vorder- noch auf der Rückseite der Fläche gleichmäßig ist und auch das allgemeine Gesetz der Verteilung noch nicht bekannt ist. Der Druckmittelpunkt kann also auch bei senkrechtem Luftstoß nur empirisch bestimmt werden. Wird der Luftwiderstand mittels eines Rotationsapparates gemessen, so ist die genaue Kenntnis

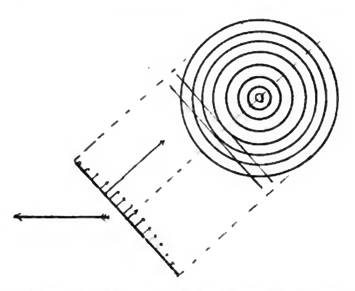


Fig. 196 c. Druckverteilung gegen Kreisfläche bei schiefem Luftstoß.

Druck nicht mehr symmetrisch zum Mittelpunkte. Druckvermehrung gegen den in der Bewegung vorausgehenden Rand. Druckmittelpunkt verschiebt sich gegen den vorausgehenden Rand. Druckverteilung symmetrisch auf Flächenstreifen senkrecht zur Bewegungsrichtung, aber nicht mehr auf Flächenstreifen parallel zur Translationsrichtung. Gesetz der Druckverteilung kann bloß empirisch bestimmt werden, indem man mit geeigneten Apparaten (Mareysche Kapsel, Niphers Druckindikator) den Druck in jedem Punkte mißt und dann rechnerisch oder graphisch die Mittelkraft und den Angriffspunkt bestimmt. Bestimmt man den Druckmittelpunkt unmittelbar, so kann man durch Vergleichung der nach beiden Methoden erhaltenen Resultate einen Maßstab gewinnen für deren Güte.

des Druckmittelpunktes nötig. Dieser wird gewöhnlich in der Weise bestimmt, daß man die bewegte Fläche in sehr schmale Streifen dF sich zerlegt denkt. Ist V die Rotationsgeschwindigkeit eines bestimmten dieser Streifen, so setzt man dessen Luftwiderstand dW zufolge Gl (3)

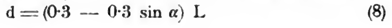
$$d\,W = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot V^2 \cdot d\,F.$$

Rotiert der Apparat mit gleichförmiger Geschwindigkeit, so konsumiert der Elementarwiderstand dW die Elementararbeit $d\,L = d\,W \cdot V$. Ist ϱ die Distanz des gesuchten Druckmittelpunktes vom Drehzentrum und macht der Apparat n Rotationen in der Zeiteinheit, so ist die Geschwindigkeit des Druckmittelpunktes $V_\varrho = 2\varrho\pi \cdot n$. Ist ferner W die Größe des Gesamtwiderstandes, so setzen wir $W \cdot V_\varrho = \int d\,W \cdot V$.

Digitized by Google

Diese Bestimmung des Druckmittelpunktes ist aber prinzipiell unrichtig, da das Elementargesetz des Luftwiderstandes dW derzeit nicht bekannt und die Differenzierung der empirischen Formel nach F nicht zulässig ist, solange die genaue Form der Funktion k nicht bekannt ist. Wir wissen ja schon, daß der Widerstandskoeffizient k eine Funktion von F sowie von der Flächenform ist.

Noch komplizierter als beim senkrechten wird die Bestimmung des Druckmittelpunktes beim schiefen Luftstoß. Hier hängt die Lage des Druckmittelpunktes auch noch von der Schiefe der Fläche ab. Mit abnehmender Schiefe rückt der Druckmittelpunkt gegen die Vorderkante der bewegten Fläche. Wir nennen dies das Avanzinische Phänomen. Für quadratische Platten hat Joëssel[1]) folgende Formel für die Abhängigkeit des Druckmittelpunktes von der Schiefe aufgestellt



$$d = (0{\cdot}3 - 0{\cdot}3 \sin \alpha)\, L \qquad (8)$$

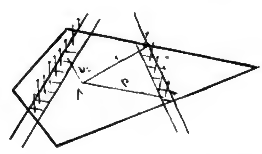


Fig. 196 d. Definition des aerodynamischen Druckmittelpunktes.

Kennt man die Druckverteilung, so ist der Druckmittelpunkt Δ dadurch definiert, daß die Summe der Drehmomente der Elementardrucke $k, k_1, k_2 \ldots$ in bezug auf ihn gleich Null wird, also $k \cdot p + k_1 \cdot p_1 + k_2\, p_2 + \ldots = \Sigma\, k p = 0$. Die Elementarwiderstände $k, k_1, k_2 \ldots$ können demnach durch eine einzige Mittelkraft, den „Luftwiderstand", schlechthin ersetzt werden, deren Angriffspunkt in den Druckmittelpunkt fällt und deren Größe gleich ist der Summe der Elementarkräfte $k + k_1 + k_2 + \ldots = \Sigma\, k$. Da der Druck von Punkt zu Punkt sich kontinuierlich ändert, wären für die Summen streng genommen eigentlich Integralzeichen zu setzen. Die Integrale können aber derzeit nicht ausgewertet werden.

Dabei bezeichnet α die Schiefe, L die Seitenlänge der Fläche und d die Distanz des Druckmittelpunktes vom Flächenzentrum. Kummer[2]) hat gezeigt, daß die Lage des Druckmittelpunktes auch von der Form der Fläche abhängig ist. Infolge der Nichtberücksichtigung der Lage des Druckmittelpunktes müssen die Ergebnisse der sorgfältigen und zahlreichen Luftwiderstandsmessungen von Lilienthal mit ebenen und gewölbten Flächen als zweifelhaft angesehen werden, solange nicht der Nachweis geliefert ist, daß die Änderung der Lage des Druckmittelpunktes ohne Einfluß auf den erhaltenen Widerstandskoeffizienten ist. Auf diesen Umstand hat zuerst v. Obermayer aufmerksam gemacht. Die Kenntnis der Lage des Druckmittelpunktes für die verschiedensten Tragflächen und der Abhängigkeit desselben von der Schiefe und allen anderen maßgebenden Umständen ist für die praktische Flugtechnik von der größten Bedeutung.

---

[1]) Joëssel, Mémorial du Génie Maritime, 1870.

[2]) Kummer, Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften, 1875, 1876.

Digitized by Google

Druckverteilung auf der Oberfläche des bewegten Körpers. Im Ruhezustande wirkt auf die Oberfläche eines Körpers bloß der statische Luftdruck. Dieser ist gegen die Seitenflächen gleich, auf die Unterseite des Körpers um das Gewicht der verdrängten Luft größer als auf die Oberseite. Auf den ruhenden Körper wirkt also nur in lotrechtem Sinne der aerostatische Auftrieb gewichtsvermindernd, in horizontaler Richtung besteht dagegen kein Druckunterschied zwischen den Seiten der Oberfläche des Körpers. Erteilt man diesem eine Bewegung, so tritt an der Vorderseite eine Vermehrung, an der Rückseite eine Verminderung des aerostatisch (also durch Manometer) gemessenen Druckes auf. Die Differenz von Überdruck weniger Unterdruck ist numerisch gleich dem Luftwiderstand.

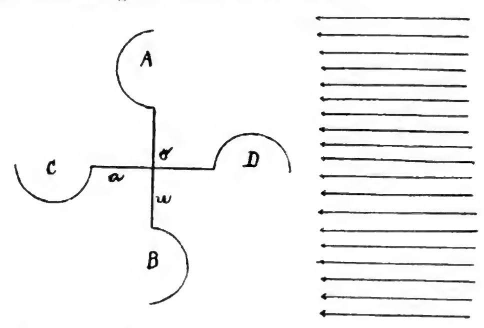


Fig. 197. Messung der Windströmungsgeschwindigkeit. Schalenkreuzanemometer von Robinson.

Vier Halbkugeln *A*, *B*, *C*, *D* an kreuzförmigen Armen *a*, *a* so montiert, daß sie sich um eine lotrechte Achse *o* leicht drehen können. Winddruck gegen die konkave Seite größer als gegen die konvexe. Drehgeschwindigkeit, Maß für die Windgeschwindigkeit. Apparate werden empirisch geeicht, indem man sie mittels Rotationsapparaten mit gemessenen Geschwindigkeiten gegen die ruhende Luft vorwärts treibt und die zugehörigen Tourenzahlen aufzeichnen läßt. Man nimmt dabei an, daß der Einfluß der ruhenden Luft auf das bewegte Schalenkreuz derselbe sei, wie jener des Windes bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit gegen das ruhende Schalenkreuz, eine Voraussetzung, deren Zulässigkeit erst zu beweisen wäre.

Zufolge der manometrischen Messungen von Recknagel und Marey ist der Überdruck über die Stirnfläche nicht gleichmäßig verteilt, sondern er ist in der Mitte größer und nimmt gegen die Ränder ab. Marey nennt diese Erscheinung den Randverlust (perte marginale).[1] Die entgegengesetzte Verteilung herrscht auf der Rückseite: höherer Druck an den Rändern und Druckabnahme gegen das Zentrum zu. Das allgemeine Gesetz der Druckverteilung für beliebige Flächen ist noch nicht bekannt.

[1]) Marey, Annales des Sciences naturelles, 1869 und 1872. Le vol des oiseaux, 1890.

Digitized by Google

Elementargesetz des Luftwiderstandes. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Luftwiderstandsformeln 2 und 5 nicht nach F differenziert werden dürfen. Es ist deshalb auch nicht zulässig, den Widerstand gegen eine beliebig gegebene Oberfläche einfach durch Integration des Elementarwiderstandes über die Fläche zu bestimmen. Schon Newton suchte auf diesem Wege das Problem des kleinsten Widerstandes zu lösen, d. h. die Körperform zu bestimmen, welche bei gleichem Querschnitt den geringsten Widerstand bei gegebener Geschwindigkeit erfährt. Alle derartigen Probleme, bei denen nach dem Flächenelement integriert wird, entbehren aber der physikalischen Grundlage. Sie setzen nämlich die Kenntnis des Elementargesetzes des Luftwiderstandes voraus. Die Aufstellung eines derartigen Elementargesetzes würde erst auf Grund der vollständigen Kenntnis der mechanischen Vorgänge an der Stirn- und Rückseite von bewegten Körpern möglich werden. Davon sind wir aber noch sehr weit entfernt; wir müssen uns deshalb damit begnügen, in den Luftwiderstandsformeln wenigstens rohe Faustregeln zu haben, die innerhalb gewisser Grenzen praktisch verwendbar sind. Man darf aber unsere derzeitigen Luftwiderstandsformeln noch keineswegs, wie dies geschehen ist, als den Ausdruck von rationellen Naturgesetzen ansehen. Man hat vielfache Versuche unternommen, die Luftwiderstandsgesetze theoretisch abzuleiten. Alle diese vermeintlichen Ableitungen sind aber, sofern sie nicht auf den Grundlagen der theoretischen Hydrodynamik basieren, bloße Scheinbeweise, welche der physikalischen Bedeutung entbehren.

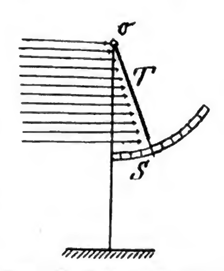


Fig. 198. Messung des Winddruckes. Drucktafel nach Wild.

Durch den Druck des Windes wird eine Tafel *T*, die sich um eine horizontal liegende Achse *O* drehen kann, gehoben, bis das Drehmoment des Plattengewichtes gleich ist dem Drehmoment des Winddruckes. An der Tafel ist ein Zeiger angebracht, der an einem Kreisbogen den Drehwinkel anzeigt.

Reibungswiderstand. Hat der bewegte Körper in der Richtung der Translation erhebliche Dimensionen, so beobachten wir das Auftreten eines Widerstandes, der sich aus dem Luftwiderstand gegen die Stirnfläche des Körpers allein nicht erklären läßt. Wir schreiben die Widerstandsvermehrung der Luftreibung gegen die Seitenflächen des bewegten Körpers zu und stellen uns den physikalischen Vorgang in der Weise vor: Den Seitenwänden adhäriert ein Lufthäutchen, das sich deshalb mit der Geschwindigkeit des Körpers bewegt. Dieses Lufthäutchen übt auf die anliegenden Luftschichten einen beschleunigenden Einfluß aus; diese geraten in Bewegung und beschleunigen ihrerseits wieder die weiter außen liegenden Schichten. Die Geschwindigkeit der mitbewegten Luftschichten wird mit der Entfernung vom Körper rasch abnehmen. In einer gewissen Entfernung wird die Luft durch die Bewegung des Körpers nicht mehr tangiert, sie bleibt in Ruhe. Die Mitbewegung der anliegenden Luftschichten bedingt die

Digitized by Google

Leistung einer gewissen mechanischen Arbeit, welche auf Kosten der kinetischen Energie des bewegten Körpers geleistet wird. Die Luftreibung macht sich also als Widerstand geltend, der sich zum Luftwiderstand gegen die Stirnfläche addiert. Über die Größe des Reibungswiderstandes liegen genaue Messungen von Professor Albert Frank vor (Versuche zur Ermittlung der der Bewegungsrichtung parallelen Seitenflächen der Körper, Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, 19. September 1908). Durch Pendelversuche mit großen schwingenden Platten aus Weißblech, Zinkblech und Eisenblech von $^9/_{16}$ bis 4 Millimeter Dicke, 1 Meter Höhe und $^1/_2$ Meter Breite fand Frank, daß 236 Quadratmeter Seitenfläche erforderlich sind, um denselben Luftwiderstand zu bieten wie 1 Quadratmeter ebener Stirnfläche. Der Luftwiderstand infolge der Seitenreibung beträgt weniger als $^1/_2$ Prozent des Luftwiderstandes gegen die Stirnfläche. Frank setzt bei der Berechnung der Versuchsergebnisse voraus, daß der Reibungswiderstand

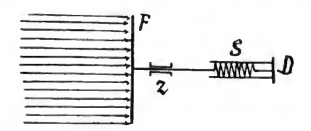


Fig. 199. Messung des Winddruckes. Apparat von Bouguer.
Wind drückt gegen die senkrecht zu seiner Richtung gestellte Fläche *F*. Diese ist mit einer senkrechten Stange verbunden, welche sich bei der Führung verschiebt. Das Ende drückt gegen die Spiralfeder *S*, die in *D* an einen mit der Erdoberfläche fix verbundenen Träger fixiert ist. Die Spannung der Feder gibt ein unmittelbares Maß für die Größe des Winddruckes.

proportional der Luftmasse γ / g und dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst. Weiters zeigte sich, daß die Luft bis zu einer Distanz von $0{\cdot}004 + l / 80$ in merkliche Bewegung geriet. Dabei bezeichnet l die Länge des Körpers in der Bewegungsrichtung in Metern. Ist v_1 die Geschwindigkeit des bewegten Körpers, v_m die mittlere Geschwindigkeit der infolge der Reibung mitbewegten Luftschichten und $v_r = v_1 - v_m$, so ergab sich folgende Beziehung $v_r / v_1 = 40 (\beta + 0{\cdot}004)$. Dabei ist β die Distanz zwischen zwei Platten. Ist k der auf 1 Quadratmeter bezogene Luftwiderstandskoeffizient, so konnte die Abhängigkeit von der Plattenentfernung mit großer Annäherung durch die Gleichung ausgedrückt werden $k = 0{\cdot}575 - 44 \beta + 1084 \beta^2$. Ein Einfluß der Oberflächen verschiedenen Materiales auf den Luftwiderstand war nicht erkennbar. Diese Ergebnisse sind besonders wichtig für die Beurteilung des Luftwiderstandes gegen die Tragkörper von Lenkballons.

Der Winddruck.

Strömt der Wind gegen einen mit der Erdoberfläche fix verbundenen Körper an, so übt er gegen diesen einen Druck aus, den wir den Winddruck nennen. Zu seiner mechanischen Charakterisierung

Digitized by Google

müssen, ebenso wie beim Luftwiderstand, Größe, Richtung und Angriffspunkt gegeben sein.

Größe des Winddruckes. Einwandfreie absolute Messungen des Winddruckes liegen bisher wohl kaum vor. Man nimmt an, daß der Winddruck bei mittleren Geschwindigkeiten proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit V^2 (m / sec) und dem größten Querschnitte F (m^2) des Körpers senkrecht zur Strömungsrichtung wächst. Bezeichnet k eine Erfahrungszahl, so wird der Winddruck in derselben Form wie der Luftwiderstand dargestellt, also

$$W = k \,.\, \frac{\gamma}{g} \,.\, Q \,.\, V^2 \text{ (kg)}$$

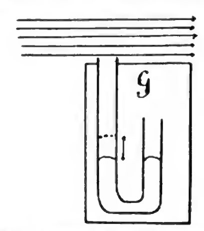


Fig. 200. Messung der Windgeschwindigkeit durch die ausgeübte Saugwirkung.

In dem gegen die Außenluft abgesperrten Raum *G* befindet sich ein U-förmiges Gefäß, das zum Teil mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt ist. In ruhender Luft steht die Flüssigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch. Der über das offene Rohr hinströmende Windstrom übt auf die Luft im Rohre eine Saugwirkung aus, wodurch die Flüssigkeit gehoben wird, bis der Gewichtsdruck der gehobenen Säule der Saugwirkung das Gleichgewicht hält.



Fig. 201. Messung des aerostatischen Druckes der Atmosphäre.

Zylindrisches Gefäß, innen möglichst luftleer gepumpt. Im Gefäß kann sich ein Kolben *k* luftdicht schließend verschieben. Kolben durch Stange *e* mit der Spiralfeder *F* verbunden. Spannung der Feder gibt ein Maß für die Größe des Luftdruckes.



Fig. 202. Messung des aerostatischen Druckes der Atmosphäre (Barometer).

Statt durch eine Spiralfeder kann man auch durch den Gewichtsdruck einer Flüssigkeit (gewöhnlich Quecksilber) dem Atmosphärendruck das Gleichgewicht halten. Rohr *R* bei *a* geschlossen, bei *b* mit der Außenluft in Kommunikation. Druck der Atmosphäre gegen *b* hält dem Gewichtsdruck der Flüssigkeitssäule von der Höhe *h* das Gleichgewicht.

Der Unterschied zwischen dem Winddruckskoeffizienten k und dem Luftwiderstandskoeffizienten $\varkappa$ dürfte praktisch wohl nicht sehr erheblich sein. Zuverlässige independente Bestimmungen von k liegen

Digitized by Google

derzeit nicht vor. Wird die Windgeschwindigkeit, wie dies fast stets der Fall ist, mittels Druck- oder Rotationsanemometern bestimmt, die dann auf Rundlaufapparaten geeicht werden, so ist eine Trennung von x und k nicht möglich und man bewegt sich in einem circulus vitiosus.

Bei schrägem Windstoß gegen ebene Flächen kann die Größe des resultierenden Winddruckes wieder in erster Annäherung pro-

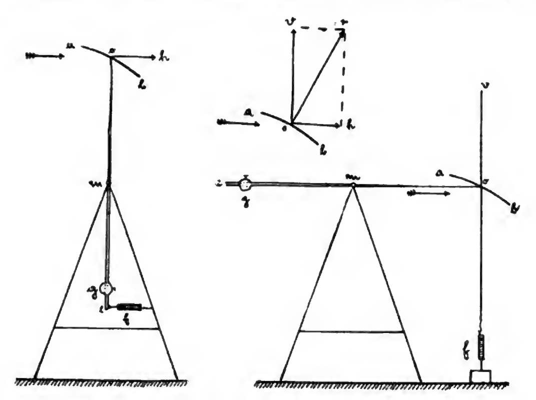


Fig. 203. Apparat von Lilienthal zur Messung des Auf- und Rücktriebes von gewölbten Flächen im Winde.

Fläche *ab* an der um *m* drehbaren Hebelstange *og* montiert. Durch verschiebbares Gewicht *g* im Ruhezustande ausbalanciert. Horizontale und vertikale Komponenten des Winddruckes *oh*, beziehungsweise *ov* durch Feder *f* gemessen. Durch Zusammensetzung der Komponenten leitet Lilienthal die Mittelkraft *or* und deren Winkel zur Lotlinie, beziehungsweise zur Flächensehne ab. Bestimmung, wie General v. Obermayer gezeigt hat, nicht einwandfrei, weil Lilienthal nicht mit freien Systemen experimentierte und auch die Voraussetzung, daß der Druckmittelpunkt der Versuchsflächen mit deren geometrischem Mittelpunkt zusammenfällt. Damit werden die wesentlichsten Versuchsergebnisse Lilienthals mit gewölbten Flächen zweifelhaft und bedürfen einer Wiederholung nach verbesserten, einwandfreien Methoden.

portional gesetzt werden dem Sinus des Windstoßwinkels. Newton setzte den Winddruck bei schrägem Windstoß proportional der zur Flächenebene senkrechten Komponente der Geschwindigkeit. Daraus folgt ein Normaldruck proportional dem Quadrate des Sinus des Windstoßwinkels. Wie der Luftwiderstand, ist aber auch der Winddruck erfahrungsgemäß eher der ersten als der zweiten Potenz des Neigungswinkels proportional zu setzen. Die Geschwindigkeitszerlegung ist also nicht zulässig.

Richtung des Winddruckes. Für die Richtung des Winddruckes gelten dieselben Sätze wie für den Luftwiderstand. Auf ebenen Flächen

Digitized by Google

steht der Winddruck bei senkrechtem und schrägem Windstoß normal zur Flächenebene. Die Richtung des Winddruckes bei gewölbten Flächen hängt von deren Form ab. Sie läßt sich nicht theoretisch bestimmen durch Zerlegung der Fläche in ebene Elemente und geometrische Addierung der Druckrichtungen.

Angriffspunkt des Winddruckes. Auch bezüglich des Angriffspunktes gelten qualitativ dieselben Sätze wie für den Luftwiderstand. Die Lage des Druckmittelpunktes muß bekannt sein, wenn der Druck gegen ebene oder gewölbte Flächen in zuverlässiger Weise gemessen werden soll. Lilienthal und Wellner leiteten aus Messungen im Winde den Satz ab, daß schwach gewölbte Flächen unter sonst gleichen Umständen einen größeren Auftrieb und einen geringeren Rücktrieb geben als ebene Flächen. Bei gewissen Windstoßwinkeln soll der Rücktrieb der Fläche ganz verschwinden und sogar ein Vortrieb

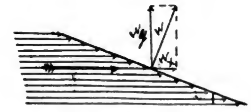




Fig. 204 a, b. Schiefer Winddruck gegen ebene Flächen, Kräftezerlegung.

a) Mittelkraft W des Winddruckes steht senkrecht zur angeströmten Fläche und kann in die lotrechte Komponente W_y, den Auftrieb, und die horizontale W_x, den Rücktrieb, zerlegt werden. Ist i die Inklination der Fläche gegen den Horizont, so wird der Windauftrieb (Luft) $W_y = W \,.\, \cos i$ und der Windrücktrieb (Drift) $W_x = W \,.\, \sin i$. Die Mittelkraft Wi ist erfahrungsgemäß in erster Annäherung $W_{90} \,.\, \sin i$ wenn W_{90} den Winddruck bei senkrechter Inzidens bedeutet. — b) Winddruckzerlegung nach Newton. Winddruck ab zerlegt in Flächenparallele Komponente ad (wirkt bloß als Reibung, nach Newton) und Flächennormale ae. Diese wieder zerlegt in lotrechte Komponente (Auftrieb) af und die horizontale ar (Rücktrieb). Nach Newton wurde früher die Mittelkraft des Winddruckes ac proportional gesetzt zu $\sin^2 i$ und ab proportional zur Windgeschwindigkeit V. Man begegnet dieser Annahme auch noch in neuester Zeit in technischen Handbüchern. Es wäre an der Zeit, diesen Irrtum auszumerzen. Die Mittelkraft des Reaktionsdruckes gegen ebene Flächen bei schiefem Luftstoß ist nämlich erfahrungsgemäß in erster Annäherung proportional zu setzen zu $\sin i$, nicht aber zu $\sin^2 i$.

auftreten. Es bedürfte systematischer Messungen an verschiedenen Orten und bei verschiedenen Windrichtungen, um den Einfluß der lokalen Bodenbeschaffenheit und des Windursprunges zu eliminieren. Auch müßten die Beobachtungen sich auf lange Zeit erstrecken, denn jeder Wind ist sozusagen ein „Individuum“ für sich. Die Häufung der Beobachtungswerte an einem einzelnen Windtage kann bloß eine Charakteristik des Windes für den Tag der Beobachtung liefern. Die Versuchsergebnisse von Lilienthal und Wellner scheinen auf den ersten Blick mit den mechanischen Grundsätzen in Widerspruch zu geraten; man darf aber nicht vergessen, daß die gefundenen Daten bloß für den natürlichen Wind gelten. Die Lilienthalschen Koeffizienten dürfen deshalb nicht für ruhige Luft angewandt werden. Aus diesem Grunde wurden die Begriffe Luftwiderstand und Winddruck scharf getrennt. Die Anwendung des Prinzipes der relativen Bewegungen auf den

Digitized by Google

Luftwiderstand, welche bisher als etwas ganz Selbstverständliches angesehen wurde, ist auf den natürlichen Wind ganz unzulässig. Dies geht klar hervor, wenn man die Eigenschaften des natürlichen Windes näher beachtet.

Windreibung. Gegen die Seitenflächen des angeströmten Körpers übt der Wind einen Widerstand aus, den wir als Windreibung bezeichnen. Die physikalische Ursache ist dieselbe wie bei der Luftreibung. Über den Betrag der Windreibung in künstlichen Windströmen hat Prof. Zahm messende Versuche angestellt.

Innere Konstitution des Windes. Der natürliche Wind stellt keine gleichförmige Strömung dar, in welcher Geschwindigkeit und Richtung aller Luftteilchen gleich und konstant angenommen werden können. Schon die alltägliche Erfahrung lehrt, daß der Wind eine pulsierende Bewegung ist. Er schwillt an und flaut dann wieder ab. Nicht selten ist die Pulsation so ausgeprägt, daß zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellen die Intensität bis auf Null abfällt. Es tritt für einen Augenblick fast völlige Windstille ein. Ein andermal sind die Wellen nur sehr schwach charakterisiert: Der Wind weht dann längere Zeit fast gleichförmig, wenigstens können wir durch das bloße Gefühl keine Inhomogenität der Strömung nachweisen.

Mittels eines empfindlichen Rotationsanemometers können aber auch bei anscheinend völlig gleichförmiger Strömung meist noch sehr erhebliche Schwankungen der Intensität nachgewiesen werden. Langley hat sehr empfindliche Rotationsanemometer, sogenannte Robinsonsche Schalenkreuze, konstruiert, bestehend aus zwei kreuzförmig verbundenen horizontalen Armen. An den Enden tragen diese Halbkugeln, deren Öffnungen alle in der Richtung des Radius liegen. Das Kreuz kann um eine senkrecht zu seiner Ebene stehende Achse rotieren. Hält man ein solches Schalenkreuz in den Wind, so beginnt es in jeder Lage zu rotieren, weil der Winddruck gegen die offene Seite der Halbkugeln größer ist. In einer vollkommen gleichförmigen Strömung würde die mittlere Drehgeschwindigkeit der Schalen konstant bleiben. Ist das Trägheitsmoment des Schalenkreuzes sehr gering, so werden die Änderungen seiner Drehgeschwindigkeit ein wenigstens qualitativ zutreffendes Bild der Änderungen der Windintensität liefern. Die Umlaufszeit des Anemometers wurde elektrisch registriert. Langley konnte auf diese Weise zeigen, daß auch ein anscheinend gleichförmiger Windstrom ein Aggregat von Stößen bildet. Eine weitere Störung der gleichförmigen Strömung bedingt die Reibung der Luft an der Erdoberfläche. Es bilden sich dadurch auch Windwirbel mit horizontaler Achse aus, das sind Luftpartien, in denen der Wind nicht bloß eine horizontale, sondern auch eine ab- oder aufsteigende Komponente hat. Mit Rücksicht auf diese innere Konstitution des Windes erscheint es prinzipiell geboten, Luftwiderstand und Winddruck klar zu trennen. Es können deshalb Sätze, welche, auf Bewegungen in ruhiger Luft übertragen, auf mechanische Widersprüche führen würden, für den Winddruck Geltung haben. Dahin gehören in erster Linie die schon erwähnten überraschenden Eigenschaften von schwach gewölbten Flächen im Winde. Da bei allen Bewegungen durch die Luft stets mit dem natürlichen Winde

Digitized by Google

zu rechnen ist, erscheint die genaue Kenntnis der Eigenschaften des natürlichen Windes und der Bestimmungsstücke des Winddruckes praktisch von gleicher Bedeutung wie die Gesetze des Luftwiderstandes.

Entstehungsursache des Windes. Der Wind strömt stets von Orten höheren Luftdruckes zu Orten tieferen Luftdruckes. Seine Stärke hängt ab vom Druckgefälle. In der Meteorologie berechnet man das Druckgefälle für ein Grad des Äquators, d. i. für 111 Kilometer, und bezeichnet dieses als Gradient. Mit der Erhebung über die Erdoberfläche nimmt der Luftdruck ab. Wir hätten von einer großen Anzahl von Orten, deren Seehöhe uns bekannt ist, gleichzeitige Beobachtungen des Luftdruckes gegeben. Wir suchen nun an jedem Orte (indem wir etwa in einem Ballon ein Barometer hochnehmen) die Höhe auf, in welcher der Luftdruck 760 Millimeter beträgt. Durch die so erhaltenen Punkte, welche im allgemeinen in verschiedenen Höhe liegen werden, legen wir eine Fläche und bezeichnen dieselbe als Fläche gleichen Druckes. Denken wir uns nun auch etwa von hundert zu hundert Meter Höhenschichtenflächen gelegt, so können wir uns sofort den Einfluß der Form der Flächen gleichen Druckes auf die auftretenden Ausgleichsströmungen übersehen. Laufen die Flächen gleichen Druckes parallel mit den Höhenschichtenflächen, dann besteht für Orte im gleichen Niveau kein Druckunterschied, also kann auch keine Luftverschiebung eintreten. Sind die Flächen gleichen Druckes nach oben konvex, also kuppenförmig, so kommen wir, wenn wir vom höchsten Punkte einer bestimmten Fläche gleichen Druckes in der durch diesen Punkt gehenden Niveaufläche weitergehen, in jeder Richtung auf höher liegende Flächen gleichen Druckes, die also einem tieferen Drucke zugehören. Es besteht demnach nach allen Seiten ein Druckgefälle nach außen. Die Luft strömt, dem Druckgefälle folgend, nach außen. Sind die Flächen gleichen Druckes nach unten zu konkav, so kommen wir vom tiefsten Punkte einer bestimmten Fläche gleichen Druckes, in der durch diesen Punkt gehenden Niveaufläche weitergehend, nach allen Seiten auf tiefer liegende Flächen gleichen Druckes, die also einem höheren Luftdrucke entsprechen. Der Druck nimmt demnach nach allen Seiten zu. Es besteht also ein Druckgefälle von außen nach innen. Die Luft strömt deshalb von allen Seiten gegen die Mulde zu ab und füllt diese allmählich aus.

Die Neigung, das Gefälle, der Flächen gleichen Druckes gibt nicht nur den Sinn der auftretenden Ausgleichströmung an, sondern bildet zugleich ein Maß für die auftretende Strömungsgeschwindigkeit. Sind die Barometerstände an der Erdoberfläche gegeben und kennt man durch Ballon- oder Drachenaufstiege die augenblickliche lotrechte Temperaturverteilung über jedem Orte, so kann man mittels der barometrischen Höhenformel leicht die Drucke in gleichen Niveauflächen etwa von 100 zu 100 Meter Höhe berechnen. Aus den auf diese Weise sich ergebenden Druckunterschieden für gleiche Niveauflächen und der horizontalen Distanz je zweier Orte kann man dann das Gefälle der Flächen gleichen Druckes für den gegebenen Zeitpunkt finden.

Wenn man von der Reibung zunächst absieht, folgt weiters aus den Formeln des freien Falles die maximale Strömungsgeschwindig-

Digitized by Google

keit, welche die Luft zufolge des vorhandenen Gefälles der Flächen gleichen Druckes erreichen könnte. Nach Hann[1]) entspricht einer Druckdifferenz von 1 Millimeter eine maximale Strömungsgeschwindigkeit von rund 14 Meter pro Sekunde. Bei einem Druckunterschied von $\Delta B = 2$ *mm* ist $v = 20$ *m* und für $\Delta B = 4$ *mm* wird v rund 30 *m*. Infolge der Reibung der Luft sind die wirklichen Strömungsgeschwindigkeiten stets kleiner. Die größten mittleren Luftdruckgradienten betragen in Europa rund 1 Millimeter, nur bei schweren Orkanen überschreitet der Gradient selbst 20 Millimeter. Auf kleineren Gebieten können aber lokal viel erheblichere Gradienten auftreten, diese bedingen aber auch nur ganz lokale Ausgleichsströmungen. Infolge der nicht gleichmäßigen Temperaturabnahme mit der Höhe an verschiedenen Orten verlaufen die höheren Flächen gleichen Druckes nicht immer parallel zueinander, das Gefälle ist also nicht für alle Punkte dasselbe, sondern es ist veränderlich von Ort zu Ort. Dadurch wird ersichtlich eine Inhomogenität der Strömung bedingt. Diese hat zur Folge, daß übereinander liegende Luftschichten mit verschiedener Geschwindigkeit übereinander hinstreichen; es kann auch geschehen, daß eine relativ zur Erdoberfläche ruhende Luftschichte oben und unten von strömenden Schichten eingeschlossen ist. An den Trennungsflächen entstehen, wie Helmholtz gezeigt hat, Wellen. Die Existenz dieser Luftwellen wird durch die sogenannten Wogenwolken erwiesen. Diese Wellen bringen gleichfalls eine Inhomogenität in die Strömung. In den untersten Luftschichten bedingt die Reibung an der Erdoberfläche eine weitere Inhomogenität. Die unmittelbar dem Boden auflagernden Luftschichten müssen sich den Konfigurationen der Unterlage anschmiegen, es entstehen so Strömungen mit auf- und absteigender Komponente. Strömungen mit aufsteigender Komponente erhöhen den Auftrieb, durch Strömungen mit absteigender Komponente wird er vermindert. Bei Messungen der Winddruckelemente muß auf alle diese Umstände Rücksicht genommen werden, wenn den erhaltenen Resultaten allgemeinere Bedeutung zukommen soll.

Lotrechter und schräger Fall durch die Luft.

Fallschirmproblem.

Es sei M die Masse des Fallkörpers, F der größte Querschnitt. Wir nehmen an, der Körper falle lotrecht nieder, wobei F stets horizontal liege, und fragen nach der Geschwindigkeit v und der Fallhöhe h in ihrer Abhängigkeit von der Fallzeit. Ist G das Gewicht des Fallkörpers, so haben wir beim Fall im luftfreien Raum $G = M.g$, wenn g die Beschleunigung der Schwere bedeutet. Beim Fall durch die Luft wird die Treibkraft des Gewichtes um den Luftwiderstand W vermindert. Bezeichnet γ die variable Beschleunigung für den Fall durch die Luft, so ist $G - W = M.\gamma$; daraus folgt

$$\gamma = \frac{G - W}{M} = g\,\frac{G - W}{G} = g\left(1 - \frac{W}{G}\right). \qquad (1)$$

[1]) Hann, Lehrbuch der Meteorologie.

Digitized by Google

Nennen wir γ das Gewicht der Volumseinheit Luft, v die Geschwindigkeit und bezeichnet $\varkappa$ einen Erfahrungskoeffizienten, so können wir W in erster Annäherung schreiben

$$W = \varkappa \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v^2 \tag{2}$$

und somit

$$\gamma = g\left(1 - \frac{\varkappa \gamma F v^2}{g \cdot G}\right). \tag{3}$$

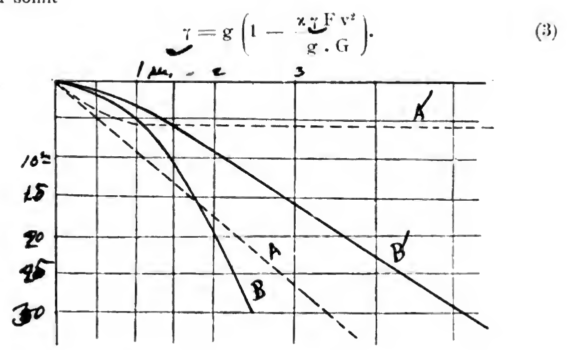


Fig. 205. Graphikon der Fallhöhe und Fallgeschwindigkeit im luftfreien Raume einer ebenen lotrecht niedersinkenden Fläche, bei welcher das Verhältnis von Gewicht zum Inhalte (die spezifische Flächenbelastung) gleich 4 Kilogramm pro Quadratmeter ist (wie bei der Taube).

Auf der Abszissenachse Fallzeiten in Sekunden, auf der Ordinatenachse Fallhöhen in Metern. *A* Kurve der Fallgeschwindigkeit im luftfreien Raume, gerade Linie, *A'* beim Fall durch die Luft. Geschwindigkeit schon nach 1 Sekunde Falldauer konstant. *B* Kurve der Fallhöhe im luftfreien Raume (Parabel), *B'* Kurve der Fallhöhen beim Fall durch die Luft. Nach 1·5 Sekunde Falldauer gerade Linie. Figur nach F. v. Loessl „Die Luftwiderstandsgesetze etc.". p. 192

Wir erhalten demnach die Differentialgleichung der Geschwindigkeit

$$\frac{dv}{dt} = \gamma = g\left(1 - \frac{\varkappa \gamma F v^2}{g}\right) \tag{4}$$

und daraus

$$dt = \frac{dv}{g\left(1 - \frac{\varkappa \gamma F v^2}{g G}\right)} \tag{5}$$

demnach

$$t = \int \frac{dv}{g\left(1 - \frac{\varkappa \gamma F v^2}{g G}\right)}. \tag{6}$$

Digitized by Google

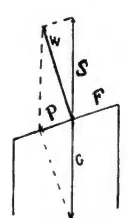
Setzen wir $v_m = \sqrt{\frac{g\,G}{\varkappa\,\gamma\,F}}$, so gibt die Gl (5) integriert unter der Voraussetzung der Anfangsgeschwindigkeit 0 und nach v aufgelöst

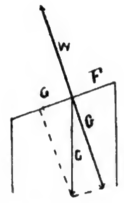
$$v = v_m \cdot \left(e^{\frac{2\,.\,t\,.\,g}{v_m}} - 1\right) : \left(e^{\frac{2\,t\,.\,g}{v_m}} + 1\right). \qquad (7)$$

Zufolge $\qquad v = dh \mid dt$

erhalten wir durch Integration von Gl (7) die Fallhöhe

$$h = \frac{1}{g}\, v_m^{\,2}\ \lg \frac{1}{2}\left(e^{\frac{t\,.\,g}{v_m}} - e^{-\frac{t\,.\,g}{v_m}}\right). \qquad (8)$$





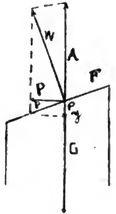


Fig. 206. Fall einer ebenen, exzentrisch belasteten Fläche.

Kräftezerlegung. I. Mittelkraft des Reaktionsdruckes der Luft W zerlegt in die lotrechte Komponente S und flächenparallele Komponente P. S wirkt dem Gewichtsdrucke G direkt entgegen und vermindert diesen. II. Wir können auch G zerlegt denken in G_n und G_p. W wirkt der Gewichtsdruckkomponente G_n mit ihrem vollen Betrage entgegen. III. Man kann auch W in die lotrechte Komponente A und die flächenparallele Komponente P zerlegen. P kann weiter in eine horizontale P_q und eine lotrechte Komponente P_y zerlegt werden. Die lotrechte P_y vermindert A um ihren vollen Betrag, P_q erteilt der Fläche eine Geschwindigkeit in ihrer Richtung. Bei entsprechender Vorsicht können alle drei Arten der Zerlegung promiscue verwendet werden. Zerlegung II kann leicht zu Trugschlüssen führen und soll deshalb lieber vermieden werden. Sind die Kräfte und ihre Angriffspunkte gegeben, so kann die Fallbahn des Körpers leicht bestimmt werden.

Wir sehen aus Gl (1), daß $\gamma = 0$ wird für $W = G$, die Bewegung wird in diesem Falle gleichförmig, die Fallgeschwindigkeit bleibt konstant. Wir nennen die Geschwindigkeit, für welche $W = G$ wird, die maximale Sinkgeschwindigkeit v_m; es ist also

$$G = W = \varkappa\,.\,\frac{\gamma}{g}\,.\,F\,.\,v_m^{\,2} \qquad (9)$$

und daraus

$$v_m = \sqrt{\frac{g\,.\,G}{\varkappa\,\gamma\,F}}. \qquad (10)$$

Die Größe v_m stellt den Maximalwert dar, dem sich die Fallgeschwindigkeit asymptotisch nähert. Praktisch wird die maximale

Digitized by Google

Fallgeschwindigkeit schon nach sehr kurzer Fallzeit erreicht. Wir ersehen aus 10, daß v_m wesentlich von G | F, d. i. der Flächenbelastung des Fallkörpers abhängt. Für Flächenbelastungen von 1—10 Kilogramm pro Quadratmeter gilt für ebene plattenförmige Fallkörper, wo $\varkappa = 1$ gesetzt werden kann, bei konstanten Werten von γ und g die einfache Näherungsformel

$$v_m = 2 \cdot 5 + 0 \cdot 8 \left(\frac{G}{F}\right). \tag{11}$$

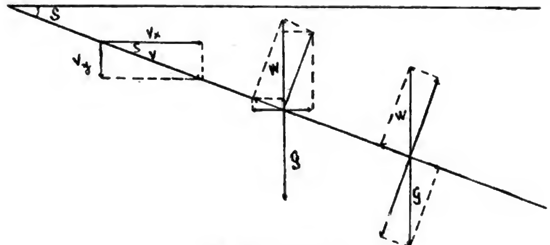


Fig. 207. Gleitfall.

Flugkörper gleitet unter dem Winkel *S*. Geschwindigkeit *V* in die horizontale Komponente V_x und die vertikale V_y zerlegt. Jede Vergrößerung von V_y und jede Verringerung von V_y zieht ersichtlich die Gleitbahn in die Länge und nähert diese der Horizontalen. Es sei im betrachteten Moment *O* der Reaktionspunkt, d. i. der Druckmittelpunkt des ganzen gleitenden Systems und *W* die Reaktante, Mittelkraft des Reaktionsdruckes der Luft. *W* kann in die lotrechte Komponente *G*, welche dem Gewichtsdrucke *G* entgegenwirkt und diesen vermindert, und in die Geschwindigkeitsparallele *P* zerlegt werden. Gleitfall wird gleichförmig, wenn $\mathfrak{G} = G$ geworden ist und $P = O$ wird.

Für Flächenbelastungen von 4—8 Kilogramm und Fallzeiten bis 0·7 Sekunden haben wir die Näherungsformeln für v und h

$$v = \gamma t = 8 \cdot 50 \,.\, t \tag{12}$$
$$h = \tfrac{1}{2} \gamma t^2 = 4 \cdot 25 \,.\, t^2. \tag{13}$$

Es gelten innerhalb der angegebenen Grenzen also dieselben Gln. wie für den freien Fall, nur mit verminderter Fallbeschleunigung.

Die Zeitdauer t_m, nach welcher bei Flächenbelastungen von 1—8 kg / m^2 die maximale Fallgeschwindigkeit erreicht wird, folgt aus der Näherungsformel

$$t_m = 0 \cdot 4 + 0 \cdot 2 \left(\frac{G}{F}\right). \tag{14}$$

Für Flächenbelastungen von 1—8 kg / m^2 ergeben sich bei ebenen Platten folgende Werte für t_m und v_m:

$\frac{G}{F}$ (kg / m^2)	1	2	4	8
v_m Meter pro Sekunde	3·0	4·8	6·0	8·5
t_m Sekunden	0·5	0·7	1·3	2·0

Digitized by Google

Wir entnehmen daraus, daß die maximale Fallgeschwindigkeit, selbst bei den extremsten, praktisch noch in Betracht kommenden Flächenbelastungen, schon nach ein bis zwei Sekunden erreicht ist.

Erfolgt der Fall in strömender Luft, also bei Wind, und ist der Querschnitt senkrecht zur Fallrichtung f im Verhältnis zu F klein, so wird der Fall sehr erheblich verzögert und um so mehr, je größer die Windgeschwindigkeit ist. Quantitativ läßt sich das Problem des lotrechten Falles in strömender Luft in zureichender Weise bisher nicht behandeln infolge unserer noch unzulänglichen Kenntnis des Luftwiderstandsgesetzes. In erster Annäherung kann man annehmen, daß die Translationsgeschwindigkeit des Fallkörpers v_k sich mit der nach entgegengesetzter Richtung genommenen Strömungsgeschwindigkeit

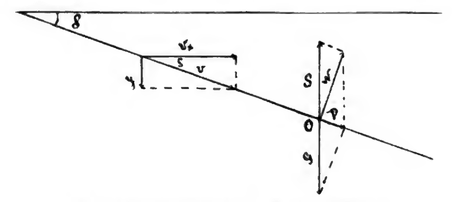


Fig. 208. Kräftezerlegung beim Gleitfall.

Im gleichförmigen (stationären) Gleitfall kann die Reaktante *W* wieder in derselben Weise, wie in 206 gezeigt wurde, zerlegt werden. Desgleichen kann in diesem Falle auch *G* zerlegt werden, weil ja der Gleitkörper sich wie auf einer festen Unterlage bewegt und in diese nicht einsinkt. Doch ist der ersten Zerlegungsart auch in diesem Falle der Vorzug zu geben, weil sie physikalisch der Natur des Problems besser angepaßt ist.

des Windes v_w zu einer relativen wirksamen Translationsgeschwindigkeit v_r geometrisch zusammensetzt, die gegeben ist durch

$$v_r^2 = v_k^2 + v_w^2$$

und mit der Platte den Inzidenzwinkel φ bildet, bestimmt durch

$$\text{tang}\,\varphi = \frac{v_k}{v_w}.$$

Die Fallbewegung durch strömende Luft wird damit zu einem Spezialproblem des schiefen Luftstoßes.

Die im vorausgehenden entwickelten allgemeinen Gleichungen gelten auch für die vertikalen Bewegungen eines Freiballons. Bezeichnet Q den größten Querschnitt, A den freien Auf- oder Abtrieb, so ist die maximale Steig-, bzw. Fallgeschwindigkeit eines Ballons nach 10 gegeben durch

$$v_m = \sqrt{\frac{g\,A}{\varkappa\gamma Q}}.$$

Über die maximal möglichen und die mittleren Fall-, bzw. Steiggeschwindigkeiten eines Ballons macht man sich meist ganz unzutreffende

Digitized by Google

Vorstellungen; sie werden gewöhnlich sehr erheblich überschätzt. Wir wollen für einen 1200 Kubikmeter-Ballon die Werte von v_m in windstiller Luft berechnen. Der größte Querschnitt der Ballonkugel ist 136 Quadratmeter. Mit Leuchtgas gefüllt ist der gesamte Auftrieb 840 Kilogramm, bei Wasserstoffüllung 1120 Kilogramm.

Wir nehmen an, daß der aufsteigende Ballon plötzlich um 10% seines Gewichtes entlastet wird und sehen, wie groß die durch den Auftrieb von 84, bzw. 112 Kilogramm mögliche maximale Steiggeschwindigkeit werden kann. Bei einem kugelförmigen Körper ist erfahrungsgemäß $k = 1/3$ zu setzen. Darnach wird $v_m = 4$ Meter bei Leuchtgasfüllung und $v_m = 5$ Meter für Wasserstoff. Die durch die Entlastung

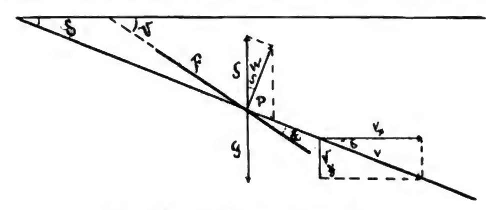


Fig. 209. Gleitfall einer ebenen Platte.

Bei ebenen Flächen steht *W* senkrecht zur Flächenebene *F*. Die Deklination der Reaktante *W* ist gleich dem Gleitwinkel φ. Σ ist die Abdrehung (Supination) der Gleitfläche und $\vartheta = \varphi + \Sigma$ der Depressionswinkel der Gleitfläche. Mit Rücksicht auf diese Beziehungen lassen sich bei ebenen Flächen die später entwickelten Pénaudschen Theoreme aufstellen.

von 10 Prozent bewirkte Steighöhe wäre zufolge der früher entwickelten Gleichungen rund 800 Meter.

Der Ballon steige aus einer Höhe von 5500 Meter nieder. In dieser Höhe ist der Luftdruck rund 380 = 760 : 2 Millimeter. Die Luftdichte ist auf die Hälfte gesunken, das Füllgas hat sich auf das doppelte Volumen ausgedehnt, der Ballon hat also die Hälfte seines Gases verloren. Mit welcher maximalen Endgeschwindigkeit kann dieser auf dem Boden auftreffen? Wir finden die Werte 5 und 6 Meter. Diese Fallgeschwindigkeiten entsprechen dem Aufprall beim Sprunge aus 1·3, bzw. 1·8 Meter Höhe.

Es werde nun durch irgendeinen Unfall (Platzen des Ballons, Aufgehen der Reißbahn) die Ballonhöhe in irgendeiner beliebig großen Höhe vollkommen gasleer. Die untere Seite stülpt sich dann unter dem Druck der Luft nach oben und die Hülle bildet einen Fallschirm. Mit welcher Geschwindigkeit wird der Aufprall erfolgen? Ist der Ballon mit einer oder mit zwei Personen bemannt, so ist $v_m = 5$—6 Meter entsprechend einer Sprunghöhe von rund 1·5 Meter. In bewegter Luft wäre v_m noch erheblich geringer. Daraus kann man entnehmen, daß das Platzen der Ballonhülle oder das Aufgehen der Reißbahn, wenn nur die Höhe groß genug ist, einen nicht allzu gefährlichen Landungschok zur Folge hat.

Digitized by Google

Sinkverminderung beim Gleitfall.

Langley hat experimentell gezeigt, daß eine wagerecht gelagerte Fläche um so langsamer durch die Luft niedersinkt, je größer ihre horizontale Translationsgeschwindigkeit wird. Eine Platte von 46 Zentimeter Länge und 10 Zentimeter Breite im Gewichte von 464 Gramm durchfiel ohne horizontale Translation eine Höhe von 1·3 Meter in $^1/_2$ Sekunde. Wurde der Rundlaufapparat mit einer Geschwindigkeit von 20 Meter pro Sekunde gedreht, so stieg die Falldauer für die gleiche Strecke auf 2—$2^1/_2$ Sekunden. Bei gleicher Flächengröße und gleicher Translationsgeschwindigkeit war die Falldauer um so größer, je kleiner die Dimension der Platte in der Translationsrichtung war. Da die treibende Kraft, das Gewicht, bei allen Platten gleich und auch das Flächenareal dasselbe war, zeigt die Vergrößerung der Falldauer für die gleiche Fallstrecke eine Vermehrung des Druckes gegen die Unterseite der fallenden Platte, eine Vergrößerung des aerodynamischen Auftriebes, an. Diese Druckvermehrung gegen gleitende Flächen erschien vielfach als überraschende Erscheinung, zu deren Erklärung man verschiedene Hypothesen aufstellte.

Josef Popper hat gezeigt, daß das Phänomen der Fallverminderung beim Gleiten bloß eine Folge des schiefen Luftstoßes ist und daß zur Erklärung der auftretenden Druckvermehrung keinerlei hypothetische Annahme nötig sei. Wir nehmen eine ebene Platte vom Gewichte G, der Fläche F und der Dicke f und erteilen ihr in wagerechter Lage die konstante horizontale Translationsgeschwindigkeit V_x. Wir lassen die Platte vom Ruhezustande aus in ruhiger Luft frei fallen. Zur Zeit $t = 0$ ist die lotrechte Komponente der Geschwindigkeit $V_y = 0$, die resultierende Relativgeschwindigkeit der Platte gegen die Luft also V_x. Der auftretende Luftwiderstand W_x ist also horizontal gerichtet. Der Auftrieb ist deshalb Null und die Platte erfährt bloß einen Rücktrieb; sie fällt zunächst mit der Beschleunigung des freien Falles. Zur Zeit t hat die Platte die lotrechte Geschwindigkeit V_y angenommen. Diese setzt sich mit der horizontalen Geschwindigkeit V_x zur Resultierenden $V^x = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ zusammen, deren Neigung α zur Plattenebene bestimmt ist durch $\operatorname{tg} \alpha = V_y \mid V_x$. Zufolge der Luftwiderstandsformel ist der lotrechte Luftwiderstand W_y gegeben durch

$$W_y = \varkappa \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot V^2 \cdot \sin \alpha$$

oder, da $\sin \alpha = V_y \mid V$ ist

$$W_y = \varkappa \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot V \cdot V_y.$$

Wenn V_x gegen V_y groß ist, wie dies bei praktischen Anwendungen fast stets der Fall sein wird, so können wir dafür auch setzen

$$W_y = \varkappa \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot V_x \cdot V_y. \qquad (1)$$

Bewegt sich die gleiche Platte mit der Geschwindigkeit V_y lotrecht zu ihrer Ebene, so ist der Luftwiderstand gegeben durch

$$W_y' = \varkappa \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot V_y^2. \qquad (2)$$

Digitized by Google

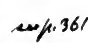
Aus 1 und 2 folgt

$$W_y = W_y' \cdot \frac{V_x}{V_y}.$$

Wegen $V_x > V_y$ wird $W_y > W_y'$. Der Auftrieb der gleitenden Platte ist also bei gleicher Fallgeschwindigkeit größer als jener beim lotrechten Fall. Die Sinkgeschwindigkeit einer translatorisch in wagerechter Lage niedersinkenden Platte muß deshalb stets kleiner sein als beim Fall ohne Translation. Eine spezielle Hypothese für die Fallverminderung beim Gleiten ist deshalb nicht nötig. Der Gleitfall stellt bloß ein Spezialproblem des schiefen Luftstoßes dar.

Schwebe- und Translationsarbeit.

Die aerodynamische Suspension eines Körpers in der Luft erfordert stets den Aufwand von sekundärer Energie, ganz unabhängig von der Translation. Schwebt der Flugkörper in ruhiger Luft über demselben Orte, so wird die gesamte Nutzarbeit zur Erhaltung des Schwebezustandes verwendet, wir bezeichnen sie deshalb als Schwebearbeit schlechthin. Aber nicht bloß bei den Schwebern, sondern auch



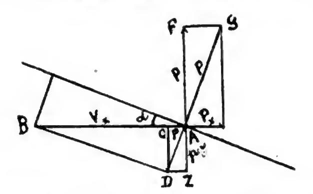


Fig. 210. Schwebe- und Translationsarbeit einer ebenen Platte.

bei den typischen aerodynamischen Fliegern, dem Drachen- und Schwingenflieger, ist eine spezielle Schwebearbeit zu leisten. Die Druckerzeugung durch aerodynamische Mittel erfordert eben unter allen Umständen den Aufwand einer bestimmten Arbeit, ganz unabhängig davon, ob der gewonnene Druck nützliche Arbeit leistet oder nicht. Auch beim Drachen- und Schwingenflieger ist beim stationären Flug in gleichbleibender Höhe außer der Translationsarbeit noch eine genau definierte Schwebearbeit zu leisten. Wir haben bei den vorausgehenden die beiden Arbeitskomponenten nicht getrennt, um die Darstellung zu erleichtern. Vom rein praktischen Standpunkte aus ist die Teilung der Arbeitssumme in Schwebe- und Translationsarbeit auch ohne Belang.

Für den Fall ebener Tragflächen läßt sich die Zerlegung der gesamten Widerstandsarbeit in die Schwebe- und die Translationsarbeit leicht durchführen, da bei ebenen Flächen die Deklination der Resultierenden des Luftwiderstandes gleich ist der Inklination der Tragfläche. Die gesamte Widerstandsarbeit E_w eines Drachenfliegers ist

Digitized by Google

im stationären Schwebefluge bestimmt durch $E_w = T_x \,.\, V_x + R_x \,.\, V_x$. Dabei bezeichnen T_x und R_x die Horizontalkomponenten des Luftwiderstandes gegen die Tragfläche, bzw. den Rumpf und V_x die Translationsgeschwindigkeit. Beide Summanden können wieder in eine Summe von zwei Teilen zerlegt werden, der eine stellt die Translations-, der andere die Schwebearbeit dar. Für $T_x \,.\, V_x = E_t$ läßt sich bei ebenen Flächen diese Zerlegung ohne Schwierigkeit vornehmen.

Es sei α die Inklination der ebenen Tragfläche (vergleiche Figur 210) und V_x die Translationsgeschwindigkeit. Wir zerlegen V_x parallel und senkrecht zur Fläche und die normale Komponente wieder in eine lotrechte und eine horizontale. Die flächennormale Komponente sei t, die horizontale t_x und die lotrechte t_y. Es ist dann

$$E_t = T_x \,.\, V_x = T_x \,.\, t_x + T_x \,.\, (V_x - t_x)$$

Da bei ebenen Flächen der Deklinationswinkel gleich der Inklination α ist, haben wir lauter rechtwinkelige, ähnliche Dreiecke und es ist deshalb

$$T_y : T_x = (V_x - t_x) : t_y$$

also

$$T_x \,.\, (V_x - t_x) = T_y \,.\, t_y$$

Damit wird

$$E_t = T_x \,.\, t_x + T_y \,.\, t_y$$

Es ist $t_x = t \,.\, \sin\alpha$ und $t = V_x \,.\, \sin\alpha$, also $t_x = V_x \,.\, \sin^2\alpha$, weiters $t_y = t \cos\alpha$ und deshalb $t_y = V_x \,.\, \sin\alpha \cos\alpha$; ferner ist $T_x = T \,.\, \sin\alpha$ und $T_y = T \cos\alpha$; damit wird

$$E_t = T_x \,.\, V_x \,.\, \sin^2\alpha + T_x \,.\, V_x \,.\, \cos^2\alpha = E_w \,.\, \sin^2\alpha + E_w \,.\, \cos^2\alpha$$

und

$$E_t = T \,.\, \sin\alpha \,.\, V_x \,.\, (\sin^2\alpha + \cos^2\alpha) = T \,.\, t$$

Die gesamte Widerstandsarbeit der Tragfläche kann demnach in zwei Komponenten, $E_w \,.\, \sin^2\alpha = E_\tau$ und $E_w \,.\, \cos^2\alpha = E_\sigma$ geteilt werden; die erste E_τ stellt die Translationsarbeit, die zweite E_σ die Schwebearbeit dar. Auch beim Schwingenflieger läßt sich die gesamte Flugarbeit des Propellers in die Translations- und die Schwebearbeit zerlegen. Die Schwebearbeit kann durch kein Mittel in Translationsarbeit umgesetzt werden. Zerlegen wir auch die Widerstandsarbeit des Rumpfes $E_r = R_x \,.\, V_x$ in die Translationsarbeit $E_{r_1\tau}$ und die Schwebearbeit $E_{r_1\sigma}$, so erhalten wir den absoluten Nutzeffekt der Translation durch die Luft mittels Drachenflieger aus

$$\eta = \frac{E_{t_1\tau} + E_{r_1\tau}}{E_{t_1\tau} + E_{t_1\sigma} + E_{r_1\tau} + E_{r_1\sigma}} = \frac{E_\tau}{E_\tau + E_\sigma} = \frac{1}{1 + \frac{E_\sigma}{E_\tau}}$$

Setzen wir voraus, daß der Deklinationswinkel für den Luftwiderstand gegen den Rumpf $\vartheta = 90$ ist, also $R_y = 0$, so wird $E_{r_1\sigma} = 0$. Für ebene Drachenflächen ist dann nach dem Vorausgehenden

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{E_{t_1\sigma}}{E_{t_1\tau} + E_{r_1\tau}}}$$

Digitized by Google

Sehen wir vom Widerstand des Rumpfes ab, setzen also $E_{r,\tau} = 0$, so erhalten wir nach Einführung der für $E_{t,\tau}$ und $E_{t,\sigma}$ gefundenen Werte für den absoluten Nutzeffekt der Tragfläche allein

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{E_{t,\sigma}}{E_{t,\tau}}} = \frac{1}{1 + \frac{\sin^2 \alpha \, . \, E_w}{\cos^2 \alpha \, . \, E_w}} = \cos^2 \alpha$$

Der absolute Nutzeffekt der Energietransformation nähert sich also bei ebenen Drachenflächen mit abnehmender Inklination der Einheit.

Denken wir uns die Drachenfläche in einer horizontalen Ebene um eine lotrechte Achse rotierend und nehmen wir den Rotationsradius so groß an, daß die radiale Dimension der Tragfläche vernachlässigt werden kann, so gilt obige Gleichung auch für einen Schraubenflieger. An Stelle der Translationsgeschwindigkeit tritt dann die Rotationsgeschwindigkeit. Wir entnehmen daraus, daß auch der absolute Nutzeffekt der Energietransformation mittels Schraubenflieger theoretisch sich der Einheit beliebig nahe bringen läßt. Praktisch wird der Zunahme von η bei der Verringerung von α durch die Luftreibung schließlich eine Grenze gesetzt. Es ist sehr interessant, die erhaltenen Resultate mit der Translation über den festen Boden zu vergleichen. Es zeigt sich, daß der Nutzeffekt der Energietransformation bei der Translation über den festen Boden durch den Reibungskoeffizienten bestimmt ist, also nicht beliebig variiert werden kann. Diese Bemerkung mag hier genügen.

Die prinzipielle Klarlegung des Begriffes der Schwebearbeit verdanken wir Popper, auf dessen „Flugtechnik" (Berlin 1889) hier verwiesen werden muß.

Das Verdienst, Translations- und Suspensionsarbeit gesondert aus der Totalarbeit herausgehoben zu haben, gebührt Pénaud.

Einige spezielle Theoreme über Drachen- und Gleitflieger.

Für Drachen- und Gleitflieger mit ebenen Tragflächen lassen sich einige allgemeine Theoreme aufstellen, die nicht ohne Interesse sind.

Drachenflieger. Ist α die Schiefe, F der Inhalt der Tragfläche, V die horizontale Fluggeschwindigkeit, $\varkappa$ eine Erfahrungszahl, so können wir den Druck der Luft gegen die Tragfläche in erster Annäherung in der Form schreiben

$$K = \varkappa \, . \, F \, . \, V^2 . \sin \alpha. \qquad (1)$$

Wir zerlegen K in eine lotrechte Komponente K_y und eine wagerechte K_x. Es ist

$$K_y = K \, . \cos \alpha \qquad (2)$$

und

$$K_x = K \sin \alpha \qquad (3)$$

Bezeichnet L_x den Rücktrieb des Apparatrumpfes und der Versteifungen, P die Propulsionskraft, so lauten die Bedingungsgleichungen des stationären, horizontalen Fluges

$$K_y = G \text{ und } P = K_x + L_x \qquad (4)$$

Digitized by Google

Wir erhalten also

$$G = \varkappa\ F\ V^2 \sin\alpha\ \cos\alpha \qquad (5)$$

und

$$P = \varkappa\ F\ V^2 \sin^2\alpha + L_x \qquad (6)$$

Da α in den praktisch hier in Betracht kommenden Fällen ein kleiner Winkel ist, schreiben wir $\cos\alpha = 1$. Für L_x können wir setzen

$$L_x = \lambda\ .\ \Phi\ .\ V^2 = \mu\ .\ V^2 \qquad (7)$$

wenn λ eine Erfahrungszahl und Φ die Äquivalentfläche des Apparatrumpfes und der Versteifungen ist. Damit werden die Gleichungen 5 und 6

$$G = \varkappa\ F\ V^2 \sin\alpha \qquad (8)$$

$$P = (\varkappa\ F \sin^2\alpha + \mu)\ V^2 \qquad (9)$$

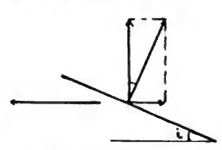


Fig. 211 a. Kräftezerlegung beim schiefen Luftstoß nach Newton.

Ebene Fläche bewegt sich unter der Schiefe *i* mit der Geschwindigkeit *V (m | sec)*. Mittelkraft des Reaktionsdruckes der Luft *W* senkrecht zu *F*, zerlegt in die lotrechte Komponente W_y (Auftrieb) und die horizontale W_x (Rücktrieb).

Die Propulsionskraft P leistet pro Zeiteinheit die Arbeit E_w und diese ist gegeben durch

$$E_w = P\ .\ V = (\varkappa\ F \sin^2\alpha + \mu)\ V^3 \qquad (10)$$

Wir setzen

$$E_w = G\ .\ U = (\varkappa\ F \sin^2\alpha + \mu)\ V^3 \qquad (11)$$

und bezeichnen U als äquivalente Fallgeschwindigkeit. Aus den Gleichungen 8 und 11 eliminieren wir V und erhalten so

$$\frac{U^2}{G} = \frac{(\varkappa F \sin^2\alpha + \mu)^2}{(\varkappa\ F \sin^3)^3} \qquad (12)$$

Für welchen Wert von α wird U ein Minimum? Wir finden, wenn wir vorstehende Gleichung nach α differenzieren, als Minimalwert für α, den wir als α_m bezeichnen,

$$\sin^2\alpha_m = \frac{3\ .\ \mu}{\varkappa\ F} \qquad (13)$$

Setzen wir diesen von α in Gleichung 12 ein, so folgt als Minimalwert für U

$$U_m^2 = \frac{16\ G}{\varkappa\ F}\left(\frac{\mu}{27\ \varkappa\ F}\right)^{1/2} \qquad (14)$$

und in Gleichung 8 eingesetzt, erhalten wir als Minimalwert für V

$$V_m^2 = \frac{G}{(3\ \varkappa\ \mu\ .\ F)^{1/2}} \qquad (15)$$

Digitized by Google

Da U zufolge Gleichung 11 die erforderliche Antriebsarbeit pro Gewichtseinheit des Flugkörpers gibt, erhellt aus Gleichung 14, daß das Arbeitsminimum wesentlich abhängig ist von dem Werte von μ. Nähert sich μ dem Werte Null, so verschwindet α ohne Grenze. Durch Gleichung 15 ist der Minimalwert der Fluggeschwindigkeit gegeben, bei der die Schwebebedingung noch erfüllt ist. Kleiner als V_m darf die Geschwindigkeit nicht werden, weil sonst die Auftriebsgleichung nicht mehr erfüllt wäre. In Gleichung 15 findet sich μ im Nenner in derselben Potenz wie in der Gleichung 14 für U_m. Im selben Maße, als also U bei der Verkleinerung von μ abnimmt, wächst V. Ohne Kenntnis des

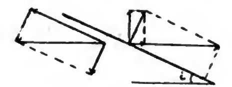


Fig. 211 b. Kräftezerlegung beim schiefen Luftstoß.

Geschwindigkeit *V* wird in zwei Komponenten, parallel zur Fläche und senkrecht zur Fläche zerlegt. Parallele Geschwindigkeitskomponente ohne Wirkung, senkrechte gibt eine flächennormale Reaktionskraft, die wieder in eine lotrechte Komponente (Auftrieb) und eine horizontale (Rücktrieb) zerlegt werden kann. Diese Kräfte- und Geschwindigkeitszerlegung ist unzulässig, sie steht im Widerspruche mit der Erfahrung, denn nach ihr wäre, weil die flächennormale Reaktionskraft proportional der flächennormalen Geschwindigkeitskomponente ist, also auch proportional zu *sin i* wäre der Auftrieb proportional zu $sin^2\ i$ zu setzen. Die Erfahrung lehrt aber, daß der Auftrieb in erster Annäherung proportional zu *sin i* gesetzt werden kann, während $sin^2\ i$ bis zu zwanzigfach kleineren Werten des Auftriebes führt.

numerischen Wertes für μ läßt sich also die erforderliche Flugarbeit für einen gegebenen Flugkörper vom Gewicht G nicht bestimmen. Der Betrag von μ hängt aber ganz vom Bau des Apparates ab; μ kann für Apparate gleicher Type sehr erheblich verschiedene Werte annehmen.

Gleitflieger.

Theoreme von Pénaud. Es sei ϑ der Winkel der Gleitrichtung mit der Horizontalen. Die Propulsion wird beim Gleitfall von einer Komponente der Schwerkraft geliefert. Wir haben im stationären Gleitfall

$$P = G \sin \vartheta \tag{16}$$

und

$$E_w = G \,.\, U = P \,.\, V = G \sin \vartheta \,.\, V \tag{17}$$

also

$$U = V \,.\, \sin \vartheta \tag{18}$$

Zufolge Gleichung 13 wird U ein Minimum für

$$\sin^2 \alpha = \frac{3\,\mu}{\varkappa\, F} \tag{19}$$

Aus 14 und 15 wird mit Rücksicht auf 18

Digitized by Google

$$\frac{U^2}{V^2} = \sin^2\vartheta = \frac{16\,\mu}{3\,\varkappa\,F} \qquad (20)$$

also

$$\frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\vartheta} = \frac{3\,\mu}{\varkappa\,F}\cdot\frac{3\,\varkappa\,F}{16\,\mu} = \frac{9}{16} \qquad (21)$$

und daraus

$$\sin\alpha = \frac{3}{4}\sin\vartheta$$

Wenn α und ϑ kleine Winkel sind, können wir dafür schreiben

$$\alpha = \frac{3}{4}\,\vartheta$$

Soll also das vertikale Gefälle am kleinsten oder die Fallzeit für eine gegebene Höhe am größten werden, so muß die Neigung der Fläche zum Horizonte gegen die Stirnseite nach unten und gleich 1/4 des Gefälles der Gleitbahn sein.

Es ist nach 17, 8, 9

$$G\sin\vartheta\,V = \varkappa\,F\,V^3\sin\alpha\,\sin\vartheta = (\varkappa\,F\sin^2\alpha + \mu)\,V^3$$

daraus

$$\varkappa\,F\sin\alpha\sin\vartheta = \varkappa\,F\sin^2\alpha + \mu$$

und

$$\sin\vartheta = \frac{\varkappa\,F\sin\alpha + \mu}{\varkappa\,F\sin\alpha} = \frac{\sin^2\alpha + \mu\,|\,\varkappa\,F}{\sin\alpha}$$

Für welchen Wert von α wird ϑ ein Minimum? Wir finden

$$\sin\alpha = \frac{1}{2}\sin\vartheta = \sqrt{\mu\,|\,\varkappa\,F}$$

und somit

$$\alpha = \frac{1}{2}\,\vartheta$$

Der Flugkörper gleitet also in der flachsten Bahn, das Gefälle ist ein Minimum, wenn die Fläche den Winkel zwischen der Horizontalen und der Richtung der Bewegung halbiert.

Genetische Darstellung der Zustandsgleichungen der aerodynamischen Flieger.

1. Die allgemeinen Zustandsgleichungen.

Wir setzen hier voraus, daß bei allen im folgenden besprochenen Flugkörpern die Stabilitätsbedingung erfüllt sei. Die Zustandsgleichungen reduzieren sich damit auf zwei, bzw. eine Kraftgleichung. Als Kräfte kommen bei allen aerodynamischen Flugkörpern in Betracht: die Schwerkraft, der Luftwiderstand und der Winddruck. Je nachdem diese Kräfte Nutzarbeit leisten oder Arbeit konsumieren, bezeichnen wir sie als aktive, d. i. als Triebkräfte, oder als passive, als Widerstände schlechthin. Jede der wirkenden Kräfte kann ihrem ganzen

Digitized by Google

Betrage nach oder doch mit einer Komponente als Triebkraft auftreten. Beim lotrechten Fall durch die Luft wirkt so die Schwerkraft ihrer ganzen Intensität nach als Triebkraft, beim schrägen Gleitfall nur mehr mit einer Komponente und beim horizontalen Fluge tritt sie ihrem ganzen Betrage nach als Energie konsumierender Widerstand auf. Ähnliches gilt vom Luftwiderstand und vom Winddruck. Da die Schwerkraft für einen gegebenen Flugkörper von konstanter Größe bleibt und stets lotrecht wirkt, wollen wir alle Kräfte stets in eine lotrechte und eine horizontale Komponente zerlegen.

Es sei G (*kg*) das scheinbare Gewicht eines gegebenen Flugkörpers in ruhiger Luft und im Ruhezustande. Durch geeignete Flächenanordnung können wir erreichen, daß die Mittelkraft des gesamten Luftwiderstandes gegen den Flugkörper dauernd mit der Lotrechten zusammenfällt. Er wird deshalb, wenn wir ihn frei fallen lassen, lotrecht niedersinken müssen mit der variablen Beschleunigung γ. Im luftfreien Raume nimmt jeder Körper unter der Wirkung der Triebkraft, die hier gleich ist seinem Gewichte, die konstante Beschleunigung g an. Ist in einem bestimmten Augenblicke die Intensität des Luftwiderstandes gegen den Fallkörper W, so wird die Triebkraft der Schwere von G auf G — W vermindert; im selben Maße sinkt auch die Beschleunigung. Diese ist also allgemein gegeben durch

$$\gamma = g \cdot \frac{G - W}{G} \qquad (1)$$

Für G — W = 0 oder W = G wird ersichtlich $\gamma = 0$ und es tritt folglich der Beharrungszustand ein. Der Flugkörper fällt von diesem Augenblicke an mit konstant bleibender Geschwindigkeit. Die Berechnung derselben und die genauere Analyse des lotrechten Falles durch die Luft wurde schon im vorausgehenden gegeben.

Wir wollen nun den Luftwiderstand R gegen den Apparatrumpf trennen vom Luftwiderstand T gegen die Tragflächen. Beide Widerstände werden im allgemeinen weder lotrecht noch horizontal gerichtet sein, sondern sie schließen mit den durch die zugehörigen Angriffspunkte gezogenen Lotlinien, bzw. die Winkel δ und ϑ ein. Beide Winkel werden von den Lotrechten aus im Sinne der Flugrichtung, also nach vorwärts, als positiv gezählt. Die Winkel δ und ϑ bezeichnen wir als Deklinationswinkel. Wir zerlegen T und R stets in eine lotrechte Komponente T_y, bzw. R_y und eine horizontale T_x, bzw. R_x. Für T_y und R_y gilt die zenitale Richtung als positiv, für die T_x und R_x die nach der Flugrichtung. Alle Kräfte mit positiver Richtung sind darnach als Triebkräfte, alle Kräfte mit negativer Richtung als Widerstandskräfte in Rechnung zu bringen.

Zufolge der Gleichungen $T^2 = T_x{}^2 + T_s{}^2$ und $R^2 = R_x{}^2 + R_y{}^2$ bestehen zwischen den einzelnen Komponenten und ihren Mittelkräften ersichtlich die Beziehungen $T_x = T \sin \delta$ und $R_x = R \sin \vartheta$; ferner $T_y = T \cos \delta = T_x \operatorname{ctg} \delta$ und $R_y = R \cos \vartheta = R_x \operatorname{ctg} \vartheta$.

Die Widerstände T und R bedingen, daß der Flugkörper die variable Beschleunigung γ annimmt, deren wagerechte γ_x, bzw. lotrecht nach unten gerichtete Komponente γ_y allgemein bestimmt sind durch

Digitized by Google

$$\gamma_x = g \cdot \frac{T_x - R_x}{G} \quad (2)$$

und

$$\gamma_y = g \cdot \frac{G - (T_y + R_y)}{G} \quad (3)$$

Für $T_x - R_x = 0$ und $G - (T_y + R_y) = 0$ werden $\gamma_x = 0$ und $\gamma_y = 0$; es tritt somit der Beharrungszustand ein. Der Gleitkörper bewegt sich von da ab mit der konstanten Geschwindigkeit V_m.

Die Bedingungsgleichungen für den stationären freien Gleitfall lauten also

$$T_x - R_x = 0 \quad (4)$$

und

$$G - (T_y + R_y) = 0 \quad (5)$$

Zerlegen wir V_m in die lotrechte Komponente V_y und die wagerechte V_x, so erhalten wir den konstanten Gleitwinkel des stationären Gleitfalles aus

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V_y}{V_x} \quad (6)$$

Stellen wir V_y und V_x mit Hilfe der Luftwiderstandsgesetze in expliziter Form dar, so können wir $\operatorname{tg} \varphi$ auch durch die Apparatkonstanten ausdrücken.

Soll der Gleitwinkel des stationären Gleitfalles kleiner werden als beim freien Gleitfall, so muß zu den vorhandenen Kräften noch ein durch innere Kräfte erzeugter Luftwiderstand P treten, mit einer Vortriebskomponente P_x und dem Auftrieb P_y. Die Kraft P nennen wir allgemein Propulsionskraft, ohne auf die Mittel zu deren Erzeugung (Schraube, Schaufelrad usw.) hier näher einzugehen. Die Komponenten der Beschleunigungen der Bewegung nehmen jetzt die Formen an

$$\gamma_x = g \cdot \frac{(T_x + P_x) - R_x}{G} \quad (7)$$

und

$$\gamma_y = g \cdot \frac{G - (T_y + R_y + P_y)}{G} \quad (8)$$

Für $(T_x + P_x) - R_x = 0$ und $G - (T_y + R_y + P_y) = 0$ werden $\gamma_x = 0$ und $\gamma_y = 0$; es tritt also Beharrungszustand ein, der Gleitfall wird stationär.

Wir erhalten demnach für den stationären, unfreien, d. i. künstlich verflachten Gleitflug die Bedingungsgleichungen

$$(T_x + P_x) - R_x = 0 \quad (9)$$

und

$$G - (T_y + R_y + P_y) = 0 \quad (10)$$

Stellen wir die Kraftkomponenten in der expliziten Form dar, so können wir auch den Gleitwinkel des unfreien Gleitfalles berechnen. Dieser ist unter den gemachten Voraussetzungen stets k l e i n e r als beim freien Gleitfall.

Lassen wir P_x und P_y ständig wachsen, so wird der Gleitwinkel unausgesetzt kleiner und die Gleitbahn nähert sich immer mehr der

Digitized by Google

Horizontalen. Es gibt Propeller, bei denen T_x und P_y stets gleichzeitig erzeugt werden, und solche, bei denen P_x und P_y ganz unabhängig voneinander entstehen. Das erste ist z. B. der Fall bei der Anwendung eines Schwingenpropellers, der zweite Fall tritt ein bei den Schrauben-, Radpropellern usw.

Jedem gegebenen Werte von P_y entspricht ein bestimmter Wert von P_x, für den der Gleitwinkel Null wird, das Gefälle also verschwindet; dasselbe gilt für P_x. Steigert man P_x, bzw. P_y über die zum stationären horizontalen Flug erforderlichen Werte, so wird der Gleitwinkel negativ, die Höhe des Flugkörpers nimmt dann ständig zu. Ist V_y die lotrechte Komponente der Geschwindigkeit, V_x die horizontale, so ist die Steigung bestimmt durch $\text{tg}\,\varphi = V_y \,/\, V_x$.

Die Gleichungen 9, 10 charakterisieren demnach die stationäre Bewegung jedes beliebigen Flugkörpers.

Für $P_x = 0$ und $P_y = 0$ stellen die Gleichungen die stationäre Bewegung eines lotrecht niedersinkenden Fallschirmes oder eines schräg fallenden Gleitfliegers dar. Ist $P_y > 0$ und $P_x = 0$, so haben wir einen Schweber, wird $P_y = 0$ einen Gleiter mit verflachter Gleitbahn oder einen Drachenflieger, wenn die Schwebebahn horizontal wird. Nehmen P_x und P_y von Null verschiedene Werte an, so haben wir einen Flieger der gemischten Type (Schweber-Drachenflieger), wenn P_x und P_y unabhängig voneinander sind, also durch verschiedene Apparate erzeugt werden, und einen typischen Schwingenflieger, wenn P_x und P_y durch denselben Mechanismus (Propeller-Schwinge) hervorgebracht werden. Die Gleichungen 9, 10 gelten demnach für alle Typen von dynamischen Flugvehikeln bei stationärer Bewegung. Wir nennen sie die Zustandsgleichungen.

Beim stationären freien Gleitflug sinkt der Flugkörper unter dem konstanten Gleitwinkel φ_k. Die Bewegungsenergie bleibt konstant, die Energie der Lage nimmt pro Zeiteinheit um den Betrag $\Delta = G \,.\, V_y$ ab, da die Sinkhöhe pro Sekunde numerisch gleich ist dem Betrage von V_y. Wegen $V_y = \text{tg}\,\varphi_k \,.\, V_x$ folgt

$$\Delta = G \,.\, V_y\ \text{tg}\,\varphi_k.$$

Diese Energie geht auf die in der Bewegungsbahn befindliche Luft über, wird in Bewegungsenergie transformiert, teils auch in Wärmeenergie und verschwindet somit aus der Masse des Flugkörpers.

Die Summe aus der Energie der Lage und der Bewegungsenergie der Masse eines Flugkörpers nennen wir die primäre Energie; den Energiebetrag, über welchen der Flugkörper überdies noch verfügt (in der Form von chemischer, elektrischer, mechanischer Energie usw.), bezeichnen wir allgemein als seine sekundäre Energie. Zur sekundären Energie ist also auch die Energie des Windes zu rechnen.

Beim stationären freien Gleitflug durch ruhige Luft nimmt die primäre Energie proportional der Sinkhöhe ab, der Verbrauch an sekundärer Energie ist Null. Der stationäre gezwungene Gleitflug erfolgt unter geringerem Gefälle als der freie. Der Verbrauch an potentieller Energie wird deshalb kleiner, es findet aber gleichzeitig ein Aufwand von sekundärer Energie statt. Dieser wird um so größer, je größer der Zwang ist, je mehr also der Gleitflug vom freien abweicht.

Digitized by Google

Verschwindet der Fall ganz, so bleibt die primäre Energie konstant und es findet bloß ein Verbrauch von sekundärer Energie statt. Die Berechnung des zum Gleit-, Horizontal- und Steigflug erforderlichen Energieaufwandes bildet ein wichtiges Problem der Flugtechnik. Um den Energieverbrauch bei der stationären Bewegung für die einzelnen dynamischen Fliegertypen berechnen zu können, müssen wir auf die spezifische Konstruktion derselben näher eingehen. Wir setzen zunächst voraus, daß die Bewegungen in ruhiger Luft erfolgen.

2. Fallschirm.

Ist V_y die maximale Fallgeschwindigkeit, so ist der Verbrauch an potentieller Energie pro Zeiteinheit

$$E\pi = G \,.\, V_y \tag{11}$$

Für den freien lotrechten Fall sind $P_x = 0$ und $P_y = 0$. Die Zustandsgleichungen reduzieren sich also auf

$$T_x - R_x = 0 \tag{12}$$

und

$$G - (T_y + R_y) = 0 \tag{13}$$

Wir stellen die Kraftkomponenten in expliziter Form dar. In erster Annäherung können wir schreiben:

$$T_x = k \,.\, \frac{\gamma}{g} F_t \,.\, V_y^2 \,.\, \sin \delta \tag{14}$$

und

$$R_x = k \,.\, \frac{\gamma}{g} F_r \,.\, V_y^2 \,.\, \sin \vartheta \tag{15}$$

ferner

$$T_y = k \,.\, \frac{\gamma}{g} F_t \,.\, V_y^2 \,.\, \cos \delta \tag{16}$$

$$R_y = h \,.\, \frac{\gamma}{g} F_r \,.\, V_y^2 \,.\, \cos \vartheta \tag{17}$$

Setzen wir diese Werte in 12, 13 ein, so folgt

$$k \,.\, F_t \,.\, \sin \delta - k \,.\, F_r \,.\, \sin \vartheta = 0 \tag{18}$$

und

$$G - \frac{\gamma}{g} (k \,.\, F_t \,.\, \cos \delta + k \,.\, F_r \,.\, \cos \vartheta) = 0 \tag{19}$$

Wir bezeichnen als relativen Reduktionskoeffizienten

$$r_k = k \,.\, F_r \;/\; k\, F_t.$$

Damit erhalten wir weiter

$$\sin \delta - r_k \,.\, \sin \vartheta = 0 \tag{20}$$

und

$$G - \frac{\gamma}{g} \,.\, k\, F_t \,.\, V_y^{\,2} (\cos \delta - r_k \cos \vartheta) = 0 \tag{21}$$

Der Faktor $(\cos \delta - r_k \,.\, \cos \vartheta) = A_k$ stellt eine von der spezifischen Konstruktion des Fallschirmes abhängige Konstante dar, die wir als

Digitized by Google

Apparatkonstante bezeichnen. Mittels der Gleichungen 20, 21 können wir ϑ auf δ reduzieren und umgekehrt.

Zufolge Gleichung 11 wird also der Energieverbrauch pro Zeiteinheit

$$E\pi = G \cdot \sqrt{\frac{g \cdot G}{\gamma \cdot k \cdot F_t \cdot A_k}} \qquad (22)$$

3. Gleitflieger.

Auch für den freien Gleitfall gelten dieselben Zustandsgleichungen. Die horizontale Komponente ist aber nicht wie beim lotrechten Fall O, sondern hat den Wert V_x. Die Zustandsgleichungen nehmen jetzt die Form an

$$\sin \delta - r_k \sin \vartheta = 0 \qquad (23)$$

und

$$G - \frac{\gamma}{g} \cdot k \cdot F_t \cdot (V_x{}^2 + V_y{}^2) \cdot A_k = 0 \qquad (24)$$

Die erste Zustandsgleichung zeigt, daß die beiden Inklinationswinkel δ und ϑ nicht voneinander unabhängig sind. Beide Winkel sind Funktionen der spezifischen Konstruktion des Apparates und des Gleitwinkels. Ist etwa ϑ gegeben, so folgt $\sin \delta = r_k \sin \vartheta$.

Der Gleitwinkel des stationären Gleitfalles ist bestimmt durch $\operatorname{tg} \varphi = V_y / V_x$. Der Gleitwinkel ist eine Funktion von δ und ϑ, sowie der spezifischen Konstruktion des ganzen Apparates und der Neigung seiner einzelnen Flächenelemente gegen die Horizontale; der Einfluß aller dieser Umstände sei mit U bezeichnet, dann ist $\varphi = f(\delta, \vartheta, U)$. Die explizite Form der Funktion f ist erst für die einfachsten Gleitkörper, bestehend aus ebenen Flächen, darstellbar. Zur Bestimmung des Energieaufwandes beim stationären Gleitflug haben wir also jetzt folgendes Gleichungssystem $\sin \delta = r_k \cdot \sin \vartheta$ (I);

$$\varphi = f(\delta, \vartheta, U) \text{ (II)};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = V_y / V_x \text{ (III)};$$

$$A_k = \cos \delta - r_k \cos \vartheta \text{ (IV)};$$

$$G - \frac{\gamma}{g} \cdot k \cdot F_t\, (V_x{}^2 + V_y{}^2) \cdot A_k \text{ (V)}.$$

Aus der ersten Gleichung folgt δ, damit erhalten wir bei gegebener Form der Funktion f aus (2) φ, und aus (3) V_x in Funktion von V_y und φ; setzen wir nun den Wert von V_x in Gleichung 5 ein, so können wir daraus V_y rechnen und damit ist auch der Energieaufwand pro Gewichtseinheit gegeben. Der Energieverbrauch pro Zeiteinheit ist also $E\pi = G \cdot V_y$.

Für den einfachsten Fall einer ebenen Platte läßt sich die Rechnung auch numerisch durchführen. Als gegeben nehmen wir außer der Form und der Dimensionierung der Platte deren Neigungswinkel δ gegen den Horizont an. Dadurch ist auch schon der Gleitwinkel φ des stationären freien Gleitfalles bestimmt, somit auch V_y und ebenso $E\pi$.

Da bei ebenen Platten die Resultierende des Luftwiderstandes in

Digitized by Google

erster Annäherung proportional dem sin des Luftstoßwinkels gesetzt werden kann und dieser hier $(\varphi - \delta)$ ist, lauten die Zustandsgleichungen:

$$\sin(\varphi - \delta) \cdot \sin\delta - r_k \cos(\varphi - \delta)\cos\delta = 0 \qquad (25)$$

und

$$G - \frac{\gamma}{g} \cdot k F_t \cdot (V_x^2 + V_y^2)[\sin(\varphi - \delta)\cos\delta + r_k \cos(\varphi - \delta)\sin\vartheta] = 0 \qquad (26)$$

Nehmen wir dazu noch die Gleichung 6 $\operatorname{tg}\varphi = \frac{V_y}{V_y}$ so können wir daraus, wenn δ, wie vorausgesetzt, gegeben ist, φ, V_x und V_y in Funktion der übrigen Größen ausdrücken. Wir ersehen daraus, daß φ nicht willkürlich angenommen werden kann, sondern durch δ und die Apparatkonstanten schon bestimmt ist. Rechnen wir aus diesen drei Gleichungen V_y, so erhalten wir damit auch den Energieverbrauch pro Zeiteinheit $\Sigma\pi = G \cdot V_y$. Ändern wir die Schiefe δ, so ändern sich auch V_x, V_y und somit auch φ, der Gleitwinkel des stationären Gleitfalles. Wir können uns fragen: Für welchen Wert der Schiefe δ wird V_y ein Minimum? Für den Fall kleiner Winkel haben wir das Problem bereits behandelt und als Näherungslösung eine einfache Relation gefunden.

Im stationären freien Gleitflug ist der dynamische Auftrieb gleich dem Gewichte des Flugkörpers. Wird die Schiefe der Tragfläche jetzt verkleinert, so nimmt der Auftrieb zu, er wird also größer als das Gewicht des Gleiters. Es entsteht deshalb ein freier Auftrieb. Dieser vermindert die Fallgeschwindigkeit. Das Gefälle vermindert sich ständig; es kann auch ganz verschwinden und selbst in eine Steigung übergehen. Gleichzeitig nimmt aber der Vortrieb des Luftwiderstandes ab. Man kann also nur auf Kosten seiner Translation Höhe gewinnen. Ohne den Aufwand von sekundärer Energie muß die primäre Energie eines Gleitfliegers ständig abnehmen. Der Gleitflieger kann wohl durch Vermittlung der Luft als Transformator kinetische Energie in potentielle umwandeln, aber die Summe der primären Energie nimmt dabei ständig ab. Ein dauerndes Schweben und ein Flug in gleichbleibender Höhe ist also nur durch den Aufwand von sekundärer Energie möglich.

4. Motorgleitflieger.

Ist ein Gleitflieger mit einem Motor ausgerüstet, der einen Propeller betätigt, so wird der Gleitwinkel des stationären freien Gleitfluges verringert. Der Propeller kann entweder bloß einen Auftrieb oder bloß einen Vortrieb liefern oder auch beide gleichzeitig. In jedem Falle wird das Gefälle verringert. Ist P_y der Auftrieb, P_x der Vortrieb des Propellers und sind s_y, bzw. s_x die zugehörigen Kraftwege, so erhalten wir den gesamten Energieverbrauch beim Gefälle H aus

$$E = G \cdot H + P_y \cdot s_y + P_x \cdot s_x \qquad (27)$$

Wird $H = 0$, so haben wir einen Drachenschweber, der in den typischen Drachenflieger übergeht, wenn auch $P_y = 0$ ist.

Digitized by Google

5. Drachenflieger.

Die primäre Energie bleibt beim Drachenflieger im stationären Horizontalflug konstant. Es findet bloß ein Verbrauch an sekundärer Energie statt; dieser ist gegeben durch $E\pi = P_x \cdot s_x$. Die vom Propeller zur Erzeugung des Vortriebes P_x verbrauchte sekundäre Energie, kann nicht kleiner sein als die zur Überwindung der Widerstände konsumierte Arbeit E_w.

Der Tragflächen- und Rumpfrücktrieb konsumieren pro Zeiteinheit die Arbeit

$$E_w = (T_x + R_x) \cdot V_x \tag{28}$$

Die Größen $E\pi$ und E_w sind erfahrungsgemäß nicht gleich, sondern es ist stets

$$E_w = \eta \cdot E\pi \tag{29}$$

wo $\eta < 1$ und den Wirkungsgrad oder Nutzeffekt des Propellers bezeichnet. Es sei weiter ω der Wirkungsgrad der Krafttransmission vom Motor zum Propeller, dann ist die effektive Motorarbeit A_m bestimmt durch $E\pi = \omega A_m$ und wir erhalten

$$A_m = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{1}{\varphi} E_w \tag{30}$$

Für E_w den Wert eingesetzt aus 29 wird

$$A_m = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot (T_x + R_x) \cdot V_x \tag{31}$$

Wir stellen T_x und R_x in expliziter Form dar, also

$$T_x = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F_t \cdot \sin \delta \cdot V_x{}^2; \; R_x = k \frac{\gamma}{g} F_r \cdot \sin \vartheta \cdot V_x{}^2 \tag{32}$$

Die Schwebebedingung lautet

$$G - \frac{\gamma}{g} (k F_t \cdot \cos \delta + k F_r \cos \vartheta) V_x{}^2 = 0 \tag{36}$$

Wir rechnen daraus $V_x{}^2$, setzen den Wert in Gl 32 ein und erhalten so

$$T_x + R_x = \frac{k \cdot F_t \cdot \sin \delta + k \cdot F_r \cdot \sin \vartheta}{k \cdot F_t \cdot \cos \delta + k \cdot F_r \cdot \cos \vartheta} \cdot G = a_k \cdot G \tag{37}$$

wo a_k bloß von der spezifischen Konstruktion des Apparates abhängt, also eine Apparatkonstante darstellt. Damit wird nun

$$A_m = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot a_k \cdot G \cdot V_x \tag{38}$$

Wir setzen $\frac{1}{\omega} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot a_k = \alpha_k$ einer neuen Apparatkonstanten, die außer von der spezifischen Konstruktion des Apparates noch abhängt von jener des Propellers und des Transmissionsmechanismus. Wir können also die effektive Motorarbeit eines Drachenfliegers vom Gewichte G schließlich schreiben

$$A_m = \alpha_k \cdot G \cdot V_x \tag{39}$$

Diese Gleichung zeigt in ihrem Bau eine bemerkenswerte Analogie mit den für die Translation über den festen Boden mittels Wagen und Schlitten gültigen.

Digitized by Google

Ist G das Gewicht eines Wagens oder Schlittens, bezeichnet μ den Koeffizienten der gleitenden Reibung zwischen Schlittenkufen und Unterlage, ρ den Koeffizienten der rollenden Reibung, so sind die effektiven Antriebsarbeiten bei der Translationsgeschwindigkeit V_x gegeben durch

$$A_s = \mu \, . \, G \, . \, V_x \text{ und } A_w = \rho \, . \, G \, . \, V_x$$

Sind η, bzw. ω die Wirkungsgrade des Propellers, bzw. der Krafttransmission und schreiben wir $\frac{1}{\eta} \, . \, \frac{1}{\omega} \, . \, \mu = \alpha_s$ und $\frac{1}{\eta} \, . \, \frac{1}{\omega} \, . \, \rho = \alpha_w$, so erhalten wir die Arbeitsgleichungen für Schlitten und Wagen in der Form $A_s = \alpha_s \, . \, G \, . \, V_x$ und $A_w = \alpha_w \, . \, G \, . \, V_x$.

Die Koeffizienten α_k, α_s und α_w, welche die Translationsart charakterisieren, bezeichnen wir als Translationskoeffizienten. Die Translationskoeffizienten des Schlittens und Wagens sind den Reibungszahlen proportional, also bei gegebenen Werten von η und ω wesentlich als Konstante anzusehen.

Während aber μ und ϱ bereits durch die Natur der Unterlage gegeben und nicht willkürlich variierbar sind, hängt der numerische Wert von der spezifischen Konstruktion des ganzen Apparates ab. Auf diese interessante und aufklärende Analogie habe ich im Jahre 1897 in einem Vortrage im Wiener Flugtechnischen Vereine zum ersten Male aufmerksam gemacht und darauf hingewiesen, daß die Gleichung 39 den Beweis für die prinzipielle Möglichkeit der Flugfähigkeit eines Drachenfliegers von beliebig großem Gewicht biete. Hervorragende Forscher behaupteten damals noch, die Flugfähigkeit von ballonfreien Fliegern sei an eine obere Grenze des Gewichtes gebunden, die nicht überschritten werden könne, trotz aller noch möglichen Verbesserungen in der Apparatkonstruktion. Zwischen der Translation über den festen Boden und durch die Luft besteht nur der eine prinzipielle Unterschied, auf den man bei allen Vergleichungen Rücksicht nehmen muß, daß nämlich die Translationsgeschwindigkeit V_x in der Arbeitsgleichung des Drachenfliegers eine Funktion von G und auch von α_k ist. Der Apparat muß sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit, der Schwebegeschwindigkeit, bewegen, wenn ein horizontaler Flug überhaupt möglich sein soll. Es gibt ferner, wie wir gesehen haben, für jeden gegebenen Apparat eine bestimmte Geschwindigkeit, bei welcher der gesamte Arbeitsaufwand einen Minimalwert erlangt. Wir bezeichnen diese Geschwindigkeit als die ökonomische Fluggeschwindigkeit. Schlitten und Wagen können sich mit jeder beliebigen Geschwindigkeit bewegen; V_x ist von G und von μ bzw. ϱ unabhängig. Ich habe auch versucht, die Werte der Apparatkonstanten α_k für bestimmte Drachenfliegerkonstruktionen zu berechnen, um sie mit den Werten von μ und ϱ zu vergleichen. Es zeigt sich aber, daß mangels der zureichenden experimentellen Grundlagen derartige Berechnungen derzeit höchstens den Charakter roher Schätzungen tragen können. Der Translationskoeffizient gibt auch ein Maß für den ökonomischen Wirkungsgrad der Translation.

Da η und ω nicht größer als die Einheit werden können, sind die Maximalwerte von α_s und α_w bestimmt durch die Werte der

Digitized by Google

Reibungszahlen μ und ϱ. Die maximal möglichen Translationskoeffizienten für die Fortbewegung über den festen Boden mit Schlitten, bzw. Wagen sind demnach $\alpha_s = \mu$ und $\alpha_w = \varrho$. Für gute Straßen und für Schlitten sind μ und ϱ rund 0·02, für Eisenbahnen ist $\varrho =$ 0·004 bis 0·005, für Schiffe 0·003 bis 0·0005. Die Werte von μ und ϱ sind wesentlich durch die Natur der Unterlage bestimmt und können auch bei der denkbar vollkommensten Konstruktion unter die angegebenen Zahlen nicht herabgemindert werden. Anders ist dies bei der Translation durch die Luft. Hier ist der maximale Wert des Translationskoeffizienten, d. i. für $\eta = 1$ und $\omega = 1$, wo $\alpha_k = a_k$ noch immer eine Apparatkonstante, also abhängig von der spezifischen Konstruktion des ganzen Apparates ist. Beachten wir die explizite Form von a_k, d. i.

$$a_k = \frac{k \,.\, F_i \,.\, \sin \delta + k \,.\, F_i \,.\, \sin \vartheta}{k \;\, F_z \,.\, \cos \delta + k \,.\, F_r \,.\, \cos \vartheta} = \frac{\sin \delta + r_k \,.\, \sin \vartheta}{\cos \delta + r_k \,.\, \cos \vartheta} \qquad (40)$$

so sehen wir, daß a_k wesentlich abhängig ist von den Deklinationswinkeln der Tragflächen und des Rumpfes und dem relativen Reduktionskoeffizienten. Aus den früheren Ausführungen ist ersichtlich, daß δ und ϑ wieder Funktionen einer Reihe von Apparatkonstanten sind; die Inklinationswinkel hängen also wesentlich ab von der spezifischen Konstruktion des ganzen Apparates und seiner einzelnen Teile. Für eine konkrete Konstruktion wird a_k natürlich auch einen ganz bestimmten Wert haben. Durch geeignete Verbesserungen kann jedoch der numerische Wert von a_k bis zu einem derzeit erreichbaren Grenzwerte $a_{k\,min}$ herabgedrückt werden. Mit fortschreitender Entwicklung des flugtechnischen Mechanismus wird sich dieser Grenzwert immer mehr einem absoluten Minimum nähern, das wesentlich eine Funktion der Reibungskonstante der Luft sein wird.

Setzen wir für V_x den aus der zweiten Zustandsgleichung Gleichung 32 folgenden Wert in die Arbeitsgleichung 38 ein, so erhalten wir diese auch in der Form

$$A_m = \frac{1}{\eta} \,.\, \frac{1}{\omega} \,.\, \frac{\sin \delta + r_k \sin \vartheta}{(\cos \delta + r_k \cos \vartheta)^{\frac{3}{2}}} \,.\, \left(\frac{g}{\gamma}\right)^{\frac{1}{2}} \,.\, \left(\frac{G}{K \,.\, F_t}\right)^{1/2} .\; G \qquad (41)$$

Wir bezeichnen $A_m \mid G = s_m$, d. i. die effektive Motorarbeit pro 1 Kilogramm des Apparatgewichtes als spezifische Flugarbeit, es ist also

$$s_m = \frac{A_m}{G} = \left(\frac{g}{\gamma}\right)^{1/2} .\, \frac{1}{\eta \,.\, \omega} \,.\, \left(\frac{G}{K \,.\, F_t}\right)^{1/2} .\, \frac{\sin \delta + r_k \sin \vartheta}{(\cos \delta + r_k \cos \vartheta)^{3/2}} \qquad (42)$$

Daraus folgt, daß die spezifische Flugarbeit außer von der Apparatkonstanten auch noch eine Funktion von G und F_t, bzw. des Quotienten $G / K \,.\, F_t = Fl$ der reduzierten Flächenbelastung ist. Man sah in diesem Umstande einen Beweis dafür, daß das Flugvermögen des Drachenfliegers mit zunehmendem Gewichte abnehmen müsse. Obige Gleichung genügt aber nicht zum Beweise dieses Satzes, da ja die spezifische Flugarbeit außer von G noch von einer Reihe von Größen abhängt, deren Änderung mit der Vergrößerung der Dimensionen sich nicht ohneweiters übersehen läßt. Diese Bemerkung mag hier genügen.

Digitized by Google

6. Aerodynamische Schweber.

Für $P_y > G$ wird die Fallbeschleunigung zufolge 8 negativ, d. i. nach oben gerichtet. Der Flugkörper kann also in diesem Falle nicht sinken, sondern wird sich auch ohne horizontale Translation in der Luft in gleicher Höhe in Schwebe erhalten.

Wie groß ist die erforderliche Arbeit, um einen Flugkörper vom Gewichte G in windstiller Luft über demselben Orte in gleicher Höhe in der Luft in Schwebe zu halten? Ein Verbrauch an primärer Energie findet nicht statt, es erfolgt aber in allen Fällen ein Aufwand von sekundärer Energie. Es muß nämlich ein aerodynamischer Auftrieb $P_y > G$ erzeugt werden, was ohne Leistung von Propellerarbeit nicht möglich ist. Wir ersehen daraus, daß die Schwebearbeit eine Funktion der Propellerkonstruktion ist und sich deshalb allgemein überhaupt nicht bestimmen läßt. Die nähere Ausführung erfolgt im Kapitel über die Propeller.

7. Schwingenflieger.

Diese sind dadurch charakterisiert, daß Propeller und Tragflächen identisch sind. Die Zustandsgleichungen des stationären Fluges lauten also nach 9 und 10

$$P_x - R_x = 0 \tag{43}$$

und

$$G - (R_y + P_y) = 0 \tag{44}$$

da T_x und T_y entfallen.

Die Arbeitsgleichung für den Verbrauch an sekundärer Energie pro Zeiteinheit läßt sich beim Schwingenflieger derzeit allgemein nicht aufstellen. Bei den Schwingenfliegern mit rotierenden Propellern wird ein kontinuierlicher aerodynamischer Auftrieb P_y erzeugt, wozu pro Zeiteinheit die Arbeit $E_\pi = P_y \, . \, s_y$ erforderlich ist, wenn s_y der Kraftweg des Propellers ist. Soll der Auftrieb P_y erzeugt werden, so muß der Propeller bei gegebener Dimensionierung und Konstruktion mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit umlaufen. Der Kraftweg s_y ist deshalb wesentlich eine Funktion der Drehgeschwindigkeit, also auch der spezifischen Konstruktion des Propellers; s_y muß deshalb für jede gegebene Apparattype, soweit dies eben auf Grund der bisherigen Luftwiderstandsregeln möglich ist, speziell berechnet werden. Die Flächen der rotierenden Schwingen sind so angeordnet, daß die Resultierende des Luftwiderstandes einen positiven Deklinationswinkel liefert. Es entsteht deshalb bei der Rotation neben dem Auftrieb P_y auch ein Vortrieb P_x. Zwischen P_y und P_x besteht ersichtlich, wie bei dem schiefen Luftstoß, allgemein die Beziehung $P_x = P_y \, . \, \text{tg}\, \delta$. Der Deklinationswinkel δ ist, wie wir schon wissen, abhängig vom Bau der Schwingenflächen und vom Luftstoßwinkel. Dieser ist wieder eine Funktion der Form der Fläche, der Rotationsgeschwindigkeit des Propellers und der Translationsgeschwindigkeit des Apparates. Wäre das Elementargesetz des Luftwiderstandes bekannt, sowie das Gesetz, nach dem der Effekt einer Translationsgeschwindigkeit im Verein mit einer Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden kann, so würde die theoretische Berechnung der Arbeit, welche zur Erzeugung eines gegebenen Auftriebes mit einem konkreten

Digitized by Google

Propeller erforderlich ist, ohne prinzipielle Schwierigkeiten möglich sein. Auch für Schwingenflieger mit oszillierenden Flügelpropellern nach Art der natürlichen Flieger läßt sich derzeit die erforderliche Motorarbeit zur Erzeugung eines bestimmten Auftriebes auf theoretischer Basis nicht ausführen. Alle die zahlreichen bis in die neueste Zeit nach dieser Richtung hin unternommenen Versuche entbehren der zureichenden physikalischen Begründung, da sie von der hypothetischen Annahme ausgehen, daß die Luftwiderstandsformeln als Elementargesetze angesehen und deshalb nach dem Flächenelement integriert werden dürfen. Es wurde bereits dargelegt, daß diese Annahme nicht zutreffend ist. Alle nach dieser Methode durchgeführten Berechnungen der Flugarbeit der Vögel bedürfen deshalb der Kontrolle durch die Erfahrung. Die Flugarbeit eines Schwingenfliegers läßt sich augenblicklich bloß für den Fall berechnen, daß der Flügelpropeller lotrechte Schwingungen ausführt, wenn also die Schlaggeschwindigkeit aller Elemente des Flügels dieselbe ist. Der Gang der Rechnung soll bloß angedeutet werden. Es sei $F\pi$ das Areal der Flügelpropellerfläche, V_y die als konstant vorausgesetzte lotrechte Schlaggeschwindigkeit und V_x die horizontale Translationsgeschwindigkeit. Dann sind nach den Luftwiderstandsregeln Auftrieb P_y und Vortrieb P_x wenigstens in erster Annäherung gegeben durch:

$$P_y = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F\pi \cdot (V_x^2 + V_y^2) \cos \delta \qquad (45)$$

und

$$P_x = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F\pi \cdot (V_x^2 + V_y^2) \sin \delta \qquad (46)$$

Bezeichnet F_r wieder den größten Rumpfquerschnitt und ϑ den Deklinationswinkel, so sind der Rumpfrücktrieb R_x und der Rumpfauftrieb explizit gegeben durch

$$R_x = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F_r \cdot V_x^2 \cdot \sin \vartheta \qquad (47)$$

und

$$R_y = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F_r \cdot V_x^2 \cdot \cos \vartheta \qquad (48)$$

Setzen wir $\operatorname{tg} \varphi = V_y / V_x$, so können wir die Zustandsgleichungen in der Form darstellen

$$(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \sin \delta - r_k \sin \vartheta = 0$$

und

$$G - [\cos \vartheta - r_k (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cos \delta] \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot V_x^2 = 0 \qquad (50)$$

Zufolge der spezifischen Propellerkonstruktion besteht zwischen φ, δ und ϑ die Gleichung

$$\varphi = f(\delta, \vartheta, U) \qquad (51)$$

Aus diesen drei Gleichungen können wir, wenn die explizite Form der Funktion f gegeben ist, φ, δ und V_x in Funktion der übrigen darstellen.

Digitized by Google

Der Rumpfwiderstand R_x konsumiert pro Zeiteinheit die Arbeit

$$E_w = R_x \cdot V_x \qquad (52)$$

Setzen wir für R_x den Wert aus 47 ein und führen für V_x [2] den Wert aus Gleichung 48 ein, so erhalten wir $E\pi$ in der Form

$$E_w = a_k \cdot G \cdot V_x \qquad (53)$$

wo a_k eine Apparatkonstante darstellt. Die effektive Flugarbeit pro Zeiteinheit ist unter den gemachten Voraussetzungen gegeben durch

$$A_m = \frac{1}{\eta_i} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot E_w = \frac{1}{\eta_i} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot a_k \cdot G \cdot V_x = \pi_k \cdot G \cdot V_x \quad (54)$$

wo η_i und ω die früheren Bezeichnungen haben. Wir können im vorliegenden Beispiel die Arbeit, welche der Propeller konsumiert, leicht berechnen. Es ist, wenn wir von der relativ geringen Reibungsarbeit in den Führungen infolge des Vortriebes P_x absehen,

$$E\pi = (G - R_y) \cdot V_y = G\left(1 - \frac{R_y}{G}\right) \cdot V_x \operatorname{tg} \varphi = \qquad (55)$$

$$= \left(1 - \frac{R_y}{G}\right) \operatorname{tg} \varphi \cdot G \cdot V_x = \nu_k \cdot G \cdot V_x$$

Daraus folgt, daß nur für $\nu_k = a_k$ die Propellerarbeit $E\pi$ gleich wird der Rumpfwiderstandsarbeit. Denken wir uns den Wert von R_y immer größer werdend, so wird für $R_y = G$ nach obigen Gleichungen $E\pi = 0$. Der Schwingenflieger geht damit in den Drachenflieger über. Der Schwingenpropeller hat dann keinen Auftrieb, aber den Vortrieb R_x zu leisten.

Einfache und anschauliche Beziehungen erhalten wir, wenn wir annehmen, daß $\vartheta = 90^0$ sei. Dies tritt ein, wenn der Rumpf, wie dies bei den natürlichen Fliegern nahezu der Fall ist, einen Rotationskörper bildet. Es folgt dann für E_w

$$E_w = \operatorname{tg} \delta \cdot G \cdot V_x \qquad (56)$$

und für $E\pi$

$$E\pi = \operatorname{tg} \varphi \cdot G \cdot V_x \qquad (57)$$

Wir erhalten zufolge 57 die Propellerarbeit des Schwingenfliegers in analoger Form wie beim Drachenflieger. Die Größe π_k stellt eine Apparatkonstante dar, die wir in Analogie zum Drachenflieger als Translationskonstante bezeichnen. Wir sehen, daß π_k im Gegensatze zum Drachenflieger vom Wirkungsgrade scheinbar unabhängig ist. Dieser steckt aber bereits in φ, auch ist π_k eine Funktion des Apparatgewichtes.

Die oben entwickelte Gleichung gilt bloß für den Flügelniederschlag unter der Voraussetzung, daß dieser eine ganze Sekunde dauert. Nach dem Schlag muß aber der Flügel wieder gehoben werden. Die Hebung kann nach verschiedenen Methoden erfolgen. Sie kann entweder mit oder auch ohne Höhenverlust durchgeführt werden. Der erste Fall tritt ein, wenn der Hub automatisch durch den Winddruck erfolgt. Wird der Flügel durch Motorkraft hochgestoßen, so kann der Fall des Rumpfes während des Hubes vermieden werden, wenn die Flügelfläche am Ende des Schlages so gedreht wird, daß der Luftwiderstand einen Auftrieb P_y gibt, welcher der zweiten Zustandsgleichung Genüge leistet, so daß also $P_y = G - R_y$ bleibt. Während des Hubes verschwindet

Digitized by Google

der Vortrieb des Propellers, es findet also ein Verbrauch von primärer Energie statt, die Translationsgeschwindigkeit nimmt ab. Der Rücktrieb des Propellers P_x konsumiert im Verein mit dem Rücktrieb des Rumpfes auf der Strecke d s die Elementararbeit $d A_h = (P_x + R_x)\, d s$. Nimmt die Translationsgeschwindigkeit während des Hubes von V_x auf v_x ab, so ist der Verlust an primärer Energie $\frac{1}{2} m (V_x^2 - v_x^2)$. Dieser muß gleich sein der von den Widerständen konsumierten Arbeit, also $\frac{1}{2} m (V_x^2 - v_x^2) = \int (P_x + R_x)\, d s$. Dazu käme noch die relativ geringe Reibungsarbeit in der Flügelführung. Während des Flügelhubes würde sich also in diesem Falle der Schwingenflieger wie ein Drachenflieger bei abgestelltem Propeller verhalten. Es würden Schwebe- und Translationsarbeit auf Kosten der primären Energie geleistet. Die Berechnung der Flugarbeit des Schwingenfliegers ist, wie man sieht, auch in diesem einfachsten Falle noch sehr kompliziert; die bisherigen Ausführungen genügen jedoch, um die Methode zu übersehen. Noch schwieriger wird das Problem, wenn wir voraussetzen, daß während des Hubes der Propellerauftrieb sich vermindert, also kleiner wird als der Abtrieb. Es muß dann der Rumpf des Flugkörpers eine Sinkbeschleunigung annehmen und es findet folglich während des Hubes auch ein Verbrauch von potentieller Energie statt. Ist die Höhenabnahme H, so beträgt der Verbrauch an potentieller Energie während des Hubes G . H. Die Verminderung der kinetischen Energie wird aber geringer sein als im ersten Falle, da zufolge der Voraussetzung der aufwärts gehende Flügel nicht mehr den gleichen Auftrieb gibt, also auch ein geringerer Deklinationswinkel und deshalb auch ein kleinerer Flügelrücktrieb eintritt. Die Sinkbeschleunigung muß während des folgenden Schlages wieder auf Null reduziert und der Apparatrumpf wieder auf die frühere Höhe gehoben werden. Die Schlaggeschwindigkeit muß also größer sein als im zuerst betrachteten Falle. Wir übersehen nach den bisherigen Darlegungen, daß die Flugarbeit eines Schwingenfliegers wesentlich abhängig ist von der Methode des Flügelhubes und von der Zahl der Flügelschläge pro Sekunde. Erfolgt der Flügelhub rasch, so wird der Verbrauch an primärer Energie geringer. Es wird die Abnahme an kinetischer Energie, bzw. an potentieller Energie kleiner. Führen wir die angedeuteten Rechnungen durch, so finden wir, was sich übrigens auch ohneweiters übersehen läßt, daß der gesamte Energieverbrauch pro Zeiteinheit um so geringer sein wird, je weniger Zeit der Flügelhub erfordert. Die früher entwickelte Gleichung gibt deshalb das mögliche Arbeitsminimum.

Sind ϑ und r_k als unabhängige Variable gegeben, so ist damit nach der ersten Zustandsgleichung auch schon der Deklinationswinkel δ bestimmt. Zufolge des Schwingenpropellerbaues wird durch δ auch φ gegeben. Die zweite Zustandsgleichung in Verbindung mit $\operatorname{tg} \varphi = V_y / V_x$ gestattet die Bestimmung von V_x und V_y in Funktion der gegebenen Größen. Wir ersehen daraus, daß im stationären Schwebefluge weder V_x noch V_y willkürlich angenommen werden können. Für $\vartheta = 90^\circ$ wird $R_y = 0$ und die Arbeitsgleichung nimmt eine einfachere Form an. Wird $\vartheta > 90^\circ$, so wird R_y negativ. Wenn

Digitized by Google

$\vartheta = 180$, verschwindet R_x; die erste Zustandsgleichung lautet in diesem Falle

$$\sin \delta - r_k \,.\, \sin 180^{0} = 0$$

Daraus folgt $\sin \delta = 0$, also $\delta = 0$. Die zweite Zustandsgleichung nimmt die Form an

$$G - \frac{\gamma}{g}(V_x^2 + V_y^2) \,.\, k\, F\pi \,.\, (1 - r_k) = 0 \qquad (58)$$

Dazu kommen noch die Gleichungen $\operatorname{tg} \varphi = V_y / V_x$ und $\varphi = f(\delta, \vartheta, U)$. Besteht die Propellerfläche aus einer einfachen ebenen oder gewölbten Fläche, so ist für $\delta = 0$ erfahrungsgemäß $\varphi = 90^{0}$, damit wird zufolge $\operatorname{tg} \varphi = V_y / V_x$ die Translationsgeschwindigkeit $V_x = 0$. Gleichung 58 wird demnach

$$G - \frac{\gamma}{g} \,.\, V_y^2 \,.\, k\, F\pi \,.\, (1 - r_k) = 0 \qquad (59)$$

Daraus folgt

$$V_y^2 = \frac{g \,.\, G}{\gamma \,.\, k\, F\pi\, (1 - r_k)} \qquad (60)$$

und die Propellerarbeit pro Zeiteinheit, wenn wir zunächst annehmen, daß die Hubdauer des Flügels verschwindend klein sei,

$$E\pi = (G + R_y) \,.\, V_y = G\left(1 + \frac{R_y}{G}\right) . V_y \qquad (61)$$

und die Motorarbeit, wenn wir wieder setzen:

$$\alpha_k = \frac{1}{\omega} \,.\, \left(1 + \frac{R_y}{G}\right) = \frac{1}{\omega}\left(1 + \frac{k \,.\, \frac{\gamma}{g} \,.\, F_r \,.\, V_{ry}^2 \,.\, \cos \delta}{G}\right) \qquad (62)$$

wobei $V_{r,y}$ die Steiggeschwindigkeit des Rumpfes bezeichnet. Damit wird schließlich

$$A_m = \alpha_k \,.\, G \,.\, V_y \qquad (63)$$

Die Größe α_k bezeichnen wir als Aszensionskonstante, sie gibt die Arbeit pro Gewichtseinheit bei der Steiggeschwindigkeit von 1 Meter pro Sekunde. Wir sehen, daß α_k außer von der spezifischen Konstruktion des Apparates noch wesentlich abhängig ist von der Steiggeschwindigkeit, was ja a priori verständlich ist. Ein Schwingenflieger kann demnach, wenn der Motor nur die erforderliche Arbeit zu leisten vermag, auch ohne horizontale Geschwindigkeit sich vom Boden abheben, also senkrecht aufsteigen und über einem gegebenen Orte in der Luft sich in Schwebe halten.

Soll der Rumpf während des Flügelniederschlages seine Höhe nicht ändern, ist also $V_{r,y} = 0$, so erhalten wir für $\alpha_k = \frac{1}{\omega}$ und $A_m = \frac{1}{\omega} \,.\, G \,.\, V_y$. Dies ist also der Betrag des Arbeitsminimums, um einen Schwingenflieger vom Gewichte G bei der gegebenen Konstruktion und der angenommenen Auftriebserzeugung dauernd in gleicher Höhe in ruhiger Luft ohne Translation in Schwebe zu halten.

Digitized by Google

Setzen wir für V_y den Wert aus 59 ein, so folgt die spezifische Schwebearbeit

$$s_s = \frac{A_m}{G} = \frac{1}{\omega} \cdot \left(\frac{g}{\gamma}\right)^{1/2} \left(\frac{G}{k\ (1 - r_k) \cdot F\pi}\right)^{1/2} \qquad (64)$$

Wir ersehen daraus, daß die spezifische Schwebearbeit außer von der Dimensionierung des Apparates auch noch von dessen spezifischer Konstruktion abhängt. Bei geometrisch ähnlicher n facher linearer Vergrößerung wächst $F\pi$ im Verhältnis zu n^2 und G proportional zu n^3. Nehmen wir an, daß w, k und r_k konstant bleiben, so wächst s_s ersichtlich proportional zu $n^1/_2$. Soll s_s konstant bleiben, so muß $k\ (1 - r_k) = n$ sein, es müßten also die Luftwiderstandskoeffizienten mit zunehmender Flächengröße wachsen. Eine Reihe von Erfahrungen scheint darauf hinzudeuten, daß dies auch tatsächlich der Fall ist. Die vielfach ausgesprochene Meinung, die spezifische Schwebearbeit wachse bei der Vergrößerung der Dimensionen in einem rascheren Verhältnis als das Gewicht, ist also nicht ohneweiters aufrecht zu erhalten.

8. Schraubenschweber.

Wird der Auftrieb durch eine Luftschraube mit lotrechter Achse, eine Hub- oder Tragschraube erzielt, so ist $P_x = 0$, ferner $T_x = 0$, $T_y = 0$ und auch $R_x = 0$. Die erste Zustandsgleichung fällt deshalb weg, die zweite nimmt die Form an

$$G - (P_y - R_y) = 0 \qquad (65)$$

Eine vollständige Theorie der Hubschrauben läßt sich ohne Kenntnis des Elementargesetzes des Luftwiderstandes nicht geben. Wir fassen unter den Begriff Hub- oder Tragschraube hier alle Mechanismen zusammen, die um eine lotrechte Achse rotierend, einen aerodynamischen Auftrieb geben. Die Form der Schraubenflügel und die ganze Konstruktion der Schraube wird zunächst nicht näher definiert. Die Schraubenflügel können ebene oder gewölbte Flächen sein, sie können wirklich schraubenförmige Flächen bilden oder nicht. Das wesentliche Merkmal ist, daß die Resultierende des Luftwiderstandes gegen eine mit konstanter Geschwindigkeit rotierende Hubschraube sich auf eine durch die Drehachse gehende lotrechte Komponente und ein Drehpaar mit lotrechter Achse reduzieren läßt. Um einen Einblick in die wesentlichsten Eigenschaften der Schraubenschweber zu gewinnen, denken wir uns eine Hubschraube, deren radiale Arme eben und so dünn sind, daß wir deren Luftwiderstand vernachlässigen können. Die radialen Dimensionen der eigentlichen wirksamen Flächen der Schraube seien gegenüber dem größten Durchmesser so gering, daß die Rotationsgeschwindigkeiten des äußeren und des inneren Flächenrandes ohne merklichen Fehler als gleich angenommen werden können. Unter diesen Voraussetzungen können wir den Auftrieb und den Rücktrieb einer der Schraubenflächen in erster Annäherung in der Form darstellen:

$$P'_y = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F' \cdot V_x^2 \cdot \cos \delta \qquad (66)$$

und

Digitized by Google

$$P'_x = k \cdot \frac{\gamma}{g} F' \cdot V_x^2 \cdot \sin \delta \tag{67}$$

Sind n Flügel vorhanden und setzen wir $n \cdot F' = F$ sowie $n \cdot P'_y = P_y$ und $n \cdot P_x = P_x$, so folgt

$$P_y = k \cdot \frac{\gamma}{g} F \cdot V_x^2 \cdot \cos \delta \tag{68}$$

$$P_x = k \cdot \frac{\gamma}{g} F \cdot V_x^2 \sin \delta \tag{69}$$

Die Gleichungen sind ganz analog den für den Drachenflieger gültigen. Ist $V_{r,y} = 0$ also auch $R_y = 0$, so erhalten wir als Zustandsgleichung für den stationären Schwebezustand

$$G - k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot V_x^2 \cdot \cos \delta = 0 \tag{70}$$

Die Arbeit, welche der Luftwiderstand konsumiert, ist

$$E_w = P_x \cdot V_x = G \operatorname{tg} \delta \cdot V_x \tag{71}$$

Ist ω der Wirkungsgrad der Krafttransmission auf die Propellerwelle, so ist die effektive Motorarbeit zur Erhaltung der gleichförmigen Rotationsgeschwindigkeit

$$A_m = \frac{1}{\omega} \cdot E_v = \frac{1}{\omega} \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot G \cdot V_x = a_k \cdot G \cdot V_x \tag{72}$$

Wir erhalten also eine ganz analoge Gleichungsform wie beim Drachen- und Schwingenflieger. Die zur Erhaltung des stationären Schwebezustandes erforderliche Motorarbeit ist ersichtlich wieder wesentlich abhängig von einer Apparatkonstanten. Setzen wir für V_x den Wert aus 70 ein, so erhalten wir A_m in der Form

$$A_m = \frac{1}{\omega} \cdot \left(\frac{g}{\gamma}\right)^{1/2} \cdot G \cdot \left(\frac{G}{kF}\right)^{1/2} \cdot \frac{\sin \delta}{(\cos \delta)^{1/2}} \tag{73}$$

Da δ ein kleiner Winkel ist, setzen wir $\cos \delta = 1$. Damit wird die spezifische Schwebearbeit unseres Schraubenfliegers

$$S_s = \frac{A_m}{G} = \frac{1}{\omega} \cdot \left(\frac{g}{\gamma}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{G}{kF}\right)^{1/2} \sin \delta \tag{74}$$

Wir sehen, daß s_s außer von Apparatkonstanten noch eine Funktion von G ist und mit abnehmendem δ die Null als Grenze hat. Bloß die zunehmende Luftreibung wird praktisch der Abnahme von δ eine über Null liegende Grenze setzen.

Bezüglich der Änderung von s_s mit der Vergrößerung des Apparates gelten dieselben Bemerkungen wie beim Drachen- und Schwingenflieger. Es läßt sich derzeit darüber gar nichts Bestimmtes aussagen. Bei geometrisch ähnlicher Vergrößerung und unter der Voraussetzung, daß k und δ konstant bleiben, würde s_s ersichtlich proportional zu $n^{1/2}$ wachsen.

Steigt eine Hubschraube vom Gewichte G mit der konstanten Geschwindigkeit V_y auf, so ist die effektive Nutzarbeit $E_n = G \cdot V_y$. Erfordert der dauernde Schraubenantrieb pro Zeiteinheit die effektive Motorarbeit A_m, so können wir $\eta = E_n / A_m$ als Nutzeffekt der Hubschraube bezeichnen. Im Schwebezustande ist $E_n = 0$, es würde also

Digitized by Google

auch $\eta = 0$. Die übliche Angabe des Nutzeffektes einer Hubschraube in Prozenten ist deshalb wenig rationell, denn sie erfordert noch eine spezielle Definition des Nutzeffektes im Schwebezustande. Die Güte einer Tragschraube wird in erster Linie durch den Deklinationswinkel δ bestimmt. Da aber bei den gewöhnlichen Schrauben δ mit der Entfernung von der Rotationsachse im allgemeinen seinen Wert ändert, müssen wir uns derzeit mit empirischen Formeln begnügen, um den Auftrieb einer gegebenen Schraube in Funktion der charakteristischen Dimensionen auszudrücken. Ch. Renard hat für eine Reihe von ihm untersuchter Schrauben den Auftrieb P_y in Kilogramm und die Antriebsarbeit E_m in Kilogrammetern durch folgende Gleichungen dargestellt:

$$P_y = 0{\cdot}026\ n^2 \,.\, d^4 \qquad (75)$$

$$E_m = 0{\cdot}01521 \,.\, n^3 \,.\, d^5 \qquad (76)$$

wo n die Tourenzahl pro Sekunde und d der Durchmesser der Schraube in Metern bezeichnen. Das Gewicht einer Schraube dieser Type von 1 Meter Durchmesser wiegt 0·5 Kilogramm. Aus den Gleichungen 75 und 76 folgt

$$P_y = 8{\cdot}85 \,.\, d^{2/3} \,.\, a^{2/3} \qquad (77)$$

wenn a die effektive Motorarbeit in Pferdekräften bedeutet und der Wirkungsgrad der Krafttransmission zu 0·9 angenommen wird. Renard verwendet obige Gleichungen zu sehr weitgehenden Schlüssen über den Einfluß des spezifischen Motorgewichtes (Gewicht pro Pferdekraft) auf den mit dieser Schraubentype erzielbaren freien Auftrieb. Er findet, daß bei einem spezifischen Motorgewichte von 4, bzw. 2 Kilogramm sich ein freier Auftrieb von 40, bzw. 2500 Kilogramm erzielen lasse. Die Ableitung basiert aber auf der nicht einwandfreien Annahme, daß die Koeffizienten in den Gleichungen 75 und 76 als absolute Konstanten angenommen werden können und daß ferner die Schrauben geometrisch ähnlich vergrößert werden. Der Gültigkeitsbereich der Renardschen Formeln kann bloß empirisch bestimmt werden, solange keine deduktive Ableitung der Koeffizienten möglich ist. Alle derartigen Untersuchungen entbehren deshalb heute noch der zureichenden empirischen Basis. Die Renardsche Schraubentype gibt bei einem Durchmesser von 2·7 Meter einen Auftrieb von 47 Kilogramm und erfordert dazu einen Motor von 6 effektiven Pferdekräften. Das Schraubengewicht beträgt 10 Kilogramm. Der Auftrieb pro Pferdekraft ist bloß 7·5 Kilogramm. Bezüglich der weiteren Ausführung muß auf die Abhandlungen Renards in den Comptes Rendus, Paris 1903, verwiesen werden. Maßgebend für die Güte einer Tragschraube ist, wie schon betont wurde, unter sonst gleichen Umständen in erster Linie der spezifische Auftrieb A_s, das ist pro Pferdekraft effektiver Motorarbeit. Da zufolge Gl 73 $A_s = 1 / S_s$ ersehen wir, daß A_s wesentlich eine Funktion von sin δ und k ist. Alle Bemühungen um die Erhöhung des Trageffektes einer Hubschraube müssen demnach darauf gerichtet sein, den Deklinationswinkel δ möglichst herabzudrücken und k möglichst zu vergrößern.

Bei ebenen Flächen, für welche die Deklination δ gleich der Inklination i der Fläche gesetzt werden kann, erhalten wir den Auftrieb und die Antriebsarbeit der betrachteten Schraube in erster Annäherung in der Form

Digitized by Google

$$P_y = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot V_x^2 \cdot \cos i \cdot \sin i \tag{78}$$

und

$$P_x = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot V_x^2 \cdot \sin i \tag{79}$$

sowie

$$E_w = P_x \cdot V_x = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot V_x^3 \cdot \sin i \tag{80}$$

Für $k \cdot \frac{\gamma}{g}$ können wir für gewöhnliche atmosphärische Verhältnisse bei ebenen Flächen rund $^1/_8$ setzen. Da die Inklination i für die praktisch hier in Betracht kommenden Fälle ein kleiner Winkel ist, schreiben wir $\cos \delta = 1$. Damit werden Auftrieb und Widerstandsarbeit pro Flächeneinheit ($F = 1$)

$$P_y = \frac{1}{8} \cdot V_x^2 \cdot \sin i \tag{81}$$

und

$$E_w = \frac{1}{8} \cdot V_x^3 \cdot \sin^2 i \tag{82}$$

Wir bezeichnen mit s_g das Gewicht der Schraube pro 1 Quadratmeter Tragfläche und mit m_g das Motorgewicht pro 1 Meterkilogramm. Das Motorgewicht M_g ist also $M_g = m_g \cdot E_w$. Damit können wir die gesamte tote Last G in der Form schreiben.

$$G = s_g + m_g \cdot \frac{1}{8} \cdot V_x^3 \cdot \sin^2 \alpha \tag{83}$$

Die Differenz $P_y - G = t$ gibt den freien Auftrieb, also die Nutzlast, welche die Schraube im Schwebezustande noch tragen kann. Es ist also

$$A = P_y - G = \frac{1}{8} \cdot V_x^2 \cdot \sin \alpha - (m + n \cdot \frac{1}{8} \cdot V_x^3 \cdot \sin^2 \alpha) \tag{84}$$

Wir können nun, indem wir einmal V_x, das anderemal i als gegeben annehmen, untersuchen, für welche Werte $P_y / A = s_p$ und $E_w / A = s_w$ Minima werden. Wir finden zufolge Gl 84, daß bei gegebenem V_x das Minimum von s_p eintritt für $\sin^2 \alpha = 8\,m / nv^3$ und von s_w bei $\sin \alpha = 16\,m / v^2$; bei gegebenem α wird s_p ein Minimum für $v^3 = 16\,m / n \sin^2 \alpha$ und s_w für $v^2 = 24\,m / \sin \alpha$. Damit wird bei gegebenem V_x der Minimalwert von s_w für $P_y = 2\,s_g$ und von s_p für $M_g = m$; ferner folgt bei gegebenem i das Minimum von s_w für $P_y = 3\,s_g$ und von s_p für $M_g = 2\,s_g$. Daraus folgt also:

Wird ein bestimmter freier Auftrieb mit einer gegebenen Schraubengeschwindigkeit erzielt, so muß das Motorgewicht gleich dem Flügelgewichte sein, wenn das Apparatgewicht möglichst klein werden soll; es muß der Gesamtauftrieb gleich dem doppelten Flügelgewichte sein, wenn die erforderliche Motorarbeit einen Minimalwert erlangen soll. Wird ein bestimmter freier Auftrieb mit einem gegebenen Inklinationswinkel erzielt, so muß das Motorgewicht gleich sein dem

Digitized by Google

doppelten Flügelgewicht, wenn das Apparatgewicht möglichst klein werden soll; soll mit der kleinstmöglichen Motorarbeit ausgelangt werden, so muß der Gesamtauftrieb dem dreifachen Flügelgewichte gleich werden.

Diese interessanten und wichtigen Sätze wurden von Jarolimek aufgestellt. Sie gelten streng innerhalb der Grenzen der Zulässigkeit des angenommenen Luftwiderstandsgesetzes und für Schrauben mit ebenen Flügeln, bei denen die Breite der wirksamen Schraubenfläche im Verhältnis zum größten Halbmesser vernachlässigt werden kann. Für gewöhnliche Schrauben werden die Jarolimekschen Sätze wohl auch noch mit großer Annäherung gelten. Wegen der praktischen Konsequenzen, welche aus obigen Sätzen für die Konstruktion von Schraubenfliegern folgen, muß auf die Originalarbeit von Jarolimek in der Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architektenvereines, Wien 1893, verwiesen werden.

Man hat bisher die Hubschrauben meist als Ventilatoren behandelt und den Auftrieb aus dem pro Zeiteinheit geförderten Luftquantum zu bestimmen gesucht. Ist S die von der Schraube bestrichene Fläche, V die Geschwindigkeit des nach unten erzeugten Luftstromes, so setzte man S . V als sekundlich gefördertes Luftquantum. Ist ρ die Masse der Volumseinheit, so wird die Masse M der pro Zeiteinheit geförderten Luft $M = (S . V) . \rho$. Da dieser Masse pro Zeiteinheit die Geschwindigkeit V erteilt wird, ist die entstehende Reaktionskraft $R = M . V = \rho SV^2$. In der Masse M steckt die kinetische Energie $L = \frac{1}{2} M . V^2$. Um pro Zeiteinheit der Masse M die Geschwindigkeit V zu erteilen, ist also eine mechanische Arbeit A_m zu leisten, die numerisch wenigstens gleich L sein muß. Wir haben demnach als Arbeitsgleichung $A_m = \frac{1}{2} M . V^2 = \frac{1}{2} \rho SV^3$ also $A / R = \frac{1}{2} V$.

Die spezifische Schwebearbeit S_s wächst somit proportional zu V. Je größer der Querschnitt des Luftstromes und je geringer die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft nach unten geworfen wird, um so größer wird S_s. Diese Art der Behandlung der Tragschrauben, welche vielfach auch auf die theoretische Behandlung der Schrauben- und Schwingenflieger ausgedehnt wurde, ist mechanisch wohl zutreffend, basiert aber auf mehreren hypothetischen Annahmen deren Zulässigkeit in jedem einzelnen Falle erst des Beweises bedarf. Wir haben derzeit keine zureichende Basis für die Berechnung des sekundlich „geförderten" Luftquantums bei einer in freier Atmosphäre laufenden Hubschraube und können darüber auch nichts Bestimmtes aussagen. Es ist ganz unwahrscheinlich, daß M einfach gesetzt werden darf $S . V . \rho$. Die Gleichung $R = M . V$ gilt bloß, wenn V für alle Massenteilchen denselben Wert hat, in Wirklichkeit werden wir zu setzen haben $R = \int M . V$ und ebenso $A_m = \frac{1}{2} \int M . V^2$. Da die Integrationen derzeit nicht ausgeführt werden können, ist es auch nicht möglich, auf diesem Wege zu brauchbaren Resultaten zu gelangen. Dieselben Bemerkungen gelten für alle Kalkulationen, welche sich auf das pro Zeiteinheit verdrängte Luftvolumen stützen.

Digitized by Google

9. Reaktionsschweber und Flieger.

Um der Masse M in der Zeiteinheit die konstante Beschleunigung γ zu erteilen, ist eine konstante Kraft K (Druck, Zug) erforderlich. Wir setzen erfahrungsgemäß

$$K = M \cdot \gamma \tag{78}$$

Bei konstanter Beschleunigung ist am Ende einer Zeiteinheit zufolge der Definitionsgleichung

$$v = \gamma \cdot t \tag{79}$$

die Maßzahl der Geschwindigkeit v gleich jener der Beschleunigung. Wir können also Gleichung 78 auch in der Form schreiben

$$K = M \cdot v \tag{80}$$

Die Maßzahl der Kraft ist demnach gleich der Bewegungsgröße M . v, die in der Zeiteinheit entsteht. Man hat die Gleichung 80 vielfach zum Ausgangspunkt theoretischer Studien über die Schwebe- und Flugarbeit von ballonfreien Flugkörpern genommen und ist dabei zu folgenden Schlüssen gekommen: Wird durch irgendeine Vorrichtung der Luftmasse M pro Zeiteinheit die Geschwindigkeit v erteilt, so tritt eine der wirkenden Kraft gleiche und ihr entgegengerichtete Reaktionskraft K auf, deren Maßzahl nach Gleichung 80 bestimmt ist durch M . v. In der bewegten Masse M steckt die kinetische Energie E, deren Maßzahl gegeben ist aus

$$E = \tfrac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 \tag{81}$$

Setzen wir voraus, daß die Bahnen aller Luftteilchen in der Masse M parallel zueinander und die Geschwindigkeiten aller Teilchen gleich sind und daß ferner keine Dissipation von Energie stattfindet, so ist nach dem Energieprinzip die Arbeit A_m zur Beschleunigung der Luftteilchen in der Masse M gleich der erzeugten gesamten lebendigen Kraft E; wir haben also

$$A_m = E = \tfrac{1}{2} M \cdot v \tag{82}$$

Aus 80 und 82 folgt

$$A_m = \tfrac{1}{2} \cdot K \cdot v \tag{83}$$

Ist ein Flugkörper vom Gewichte G gegeben und soll dieser dauernd in gleichbleibender Höhe in ruhiger Luft ohne Anwendung eines Ballons zum Schweben gebracht werden, so gelten darnach die Beziehungen

$$K = M \cdot v = G \tag{84}$$

$$A_m = E = \tfrac{1}{2} M \cdot v^2 \tag{85}$$

und daraus

$$A_m = \tfrac{1}{2} \cdot G \cdot v \tag{86}$$

Soll A_m möglichst klein werden, so muß bei gegebenem G ersichtlich der Wert von v so klein wie möglich werden. Da aber gleichzeitig die Schwebebedingung 84 zu erfüllen ist, muß M möglichst groß genommen werden. Daraus folgt der bekannte Satz: Soll mit ballonfreien Apparaten ein möglichst großer Auftrieb bei geringster Schwebearbeit erzielt werden, so sind möglichst große Luftmengen mit der geringst möglichen Geschwindigkeit in Bewegung zu setzen. Man schloß daraus, es wären möglichst große, langsam schwingende Flügel oder Schrauben von tunlichst großem Durchmesser und geringster Tourenzahl in Verwendung zu bringen.

Digitized by Google

Die Anwendung der Gleichung 84, 85 und 86 erheischt die Kenntnis der wirksamen Masse M. Wir sind derzeit nicht in der Lage, die Werte von M selbst in den einfachsten Fällen durch die Apparatkonstanten auszudrücken. Bewegt sich die ebene, horizontal gelagerte Fläche F mit der konstanten Geschwindigkeit v lotrecht nach unten, so entsteht ein lotrecht nach oben gerichteter Reaktionsdruck W, der erfahrungsgemäß in erster Annäherung quantitativ bestimmt ist durch

$$W = \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v^2 \qquad (87)$$

Unter der Voraussetzung, daß alle Luftteilchen parallele Bahnen beschreiben und deren Geschwindigkeit gleich sei der Translationsgeschwindigkeit v der Fläche, setzt man die Masse der pro Zeiteinheit kinematisch verdrängten Luftmasse $M = \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v$. Aus den beiden Gleichungen 87 und 80

$$W = \frac{\gamma}{g} F v^2, \text{ bzw. } W = M \cdot v$$

folgt, daß wir in der Tat als wirksame Masse $\mu = \frac{\gamma}{g} F v$ zu setzen hätten. Unter dieser Voraussetzung stimmt aber die Energiegleichung 85 nicht, denn es würde

$$E = W \cdot v = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \frac{\gamma}{g} F v^2 \cdot v = \frac{1}{2} W v$$

Soll die Energiegleichung numerisch richtig werden, so ist zu setzen $M = 2 \frac{\gamma}{g} F v$. Man kann also, wenn man diese Umstände nicht beachtet, scheinbar mit demselben Sicherheitsgrade als Schwebearbeit einmal $\frac{1}{2}$ W . v ein andermal gerade den doppelten Betrag W . v herausrechnen. Wir haben hier eine der zahlreichen Fußangeln der theoretischen Flugtechnik vor uns, welcher auch hervorragende Forscher nicht auszuweichen vermochten.

Die prinzipiell einzig richtige Behandlung des Problems ist ersichtlich ganz einfach, wenn man sich vor Augen hält, daß in Gleichung 80 für M die dynamisch wirksame Luftmasse und nicht die kinematisch verdrängte einzusetzen ist. Auf diese Umstände hat schon Josef Popper in seinen auch heute noch sehr lesenswerten Arbeiten in voller Klarheit hingewiesen. Bei der mangelnden Kenntnis der dynamisch zur Wirkung kommenden Luftmasse ist deshalb eine Behandlung des Problems auf diesem Wege derzeit nicht möglich. Bloß für die reinen Reaktionsschweber und Flieger, bei denen der Auftrieb und Vortrieb durch typische Reaktionspropeller erzeugt wird, können die Reaktionskräfte und die erforderliche Schwebearbeit mittels der Gleichungen 84 und 86 bestimmt werden. Ebenso für Ventilatorflieger, bei denen ein Ventilator in einem beiderseits offenen Mantelrohre arbeitet. Ist M die pro Zeiteinheit geförderte Luftmasse, v die Fördergeschwindigkeit, so ist zufolge 84 die erzielte Reaktionskraft W

$$W = M \cdot v$$

und die erforderliche Antriebsarbeit zufolge 85

$$A_m = {}^1/_2\, M \cdot v^2 = {}^1/_2\, W \cdot v$$

Dieselben Gleichungen für die erzeugte Reaktionskraft und die erforderliche Schwebearbeit gelten, wenn als wirksame Masse komprimiertes Gas (Luft, Kohlensäure, Wasserdampf) verwendet wird, das durch Düsen in die freie Luft ausströmt.

Die reinen Reaktionsflieger, deren Antrieb durch einen in ein Mantelrohr eingeschlossenen Ventilator oder durch einen Reaktionspropeller erfolgt, arbeiten mit relativ sehr geringem Wirkungsgrade; dieser ist auch bei günstigster Konstruktion noch erheblich geringer als bei einem zweckmäßig gebauten Drachen-, Schrauben- oder Schwingenflieger. Die Ursache der größeren Ökonomie der zuletzt genannten Flieger gegenüber den typischen Reaktionsfliegern liegt in der Druckvermehrung bei schrägem Luftstoß.

Wird der horizontal gelagerten ebenen Platte F in ruhiger Luft die lotrechte Geschwindigkeit v erteilt, so entsteht ein Reaktionsdruck P, der lotrecht nach oben gerichtet ist und erfahrungsgemäß in erster Annäherung quantitativ gegeben ist durch

$$P = \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v_y^2$$

Die Erzeugung des Reaktionsdruckes P erfordert pro Zeiteinheit die Antriebsarbeit

$$A = P \cdot v_y \qquad (88)$$

Soll der Apparat vom Gewichte G dauernd in gleicher Höhe in Schwebe bleiben, so sind die beiden Gleichungen zu erfüllen

$$F = \frac{\gamma}{g} P \cdot v_y^2 = G \qquad (89)$$

und

$$A_s = P \cdot v_y = G \cdot v_y \qquad (90)$$

Aus 88 folgt die erforderliche Schlaggeschwindigkeit zur Erzielung des stationären Schwebezustandes

$$V_y = \sqrt{\frac{g}{\gamma} \cdot \frac{G}{F}} \qquad (91)$$

und dieser Wert, in Gleichung 90 eingesetzt, gibt den Arbeitsbedarf in der bekannten Form

$$A_s = G \cdot v_y = G \sqrt{\frac{g}{\gamma} \cdot \frac{G}{F}} \qquad (92)$$

Bewegt sich die Fläche F mit der Geschwindigkeit v_x horizontal vorwärts, so wird die resultierende Geschwindigkeit

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 \qquad (93)$$

Die Richtung der Reaktionskraft bleibt, wenn wir von der Reibung absehen, senkrecht zur Fläche und ist in erster Annäherung quantitativ bestimmt durch:

$$T' = \frac{\gamma}{g} F \cdot v^2 \cdot \sin \alpha = \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot (v_x^2 + v_y^2) \sin \cdot \alpha \qquad (94)$$

wo α den Winkel zwischen der Ebene der Fläche und der resultierenden Geschwindigkeit bedeutet. Führen wir für sin α den Wert

Digitized by Google

$$\sin \alpha = \frac{v_y}{(v_x^2 + v_y^2)^{1/2}} \qquad (95)$$

in Gleichung 94 ein und bezeichnen den Wert, der für $P' = G$ aus Gleichung 94 folgt mit V_y', so erhalten wir nach einigen Umformungen

$$V_y' = \left[- \frac{v_x^2}{2} \pm \left(\frac{v_x^4}{4} + \left(\frac{g}{\gamma} \frac{G}{F} \right)^2 \right)^{1/2} \right]^{1/2} \qquad (96)$$

Beim senkrechten Luftstoß ist zufolge Gleichung 91 V_y außer von g und γ bloß noch eine Funktion von G und F, beim schrägen Luftstoß ist aber nach Gleichung 96 V_y' überdies auch noch eine Funktion von v_x der Translationsgeschwindigkeit und nimmt rasch mit zunehmendem v_x ab.

Die Schwebearbeit, welche wieder gegeben wird durch

$$A'_s = G \cdot V'_y$$

ist beim schrägen Luftstoß ersichtlich gleichfalls eine Funktion der Translationsgeschwindigkeit v_x und nimmt mit wachsendem v_x rasch ab.

Die bekannte Tatsache der Sinkverminderung beim Gleiten erklärt sich gleichfalls nach dem Prinzip des schiefen Luftstoßes, der eine Druckvermehrung bedingt. Der Flug der natürlichen Flieger (Vögel, Fledermäuse) mußte, solange das Prinzip des schiefen Luftstoßes unbekannt war, ein mechanisches Rätsel bleiben, denn die unter Zugrundelegung des senkrechten Luftstoßes berechneten Werte der erforderlichen Flugarbeit erreichte so hohe Werte, daß diese mit den Tatsachen unvereinbar blieben.

Statt die Flügelfläche translatorisch vorwärts zu bewegen, kann sie auch rotatorisch niederbewegt werden etwa in der Weise, daß die Fläche in horizontaler Lage sich um eine lotrechte Achse dreht und ihr gleichzeitig eine lotrechte Schlaggeschwindigkeit erteilt wird. Auch in diesem Falle tritt das Phänomen des schiefen Luftstoßes auf. Der Reaktionsdruck wird wieder eine Funktion der Schlag- und der Rotationsgeschwindigkeit sein und mit zunehmender Rotationsgeschwindigkeit rasch wachsen.

Ähnliche Beziehungen gelten für alle dynamischen Schwebe- und Flugapparate, bei denen der Auftrieb durch translatorisch oder rotatorisch bewegte, gegen die Bewegungsrichtung aufgedrehte Flächen erzeugt wird. Dazu gehören alle Drachen- und Schraubenflieger. Es sind deshalb jene dynamischen Flieger, welche mit schiefem Luftstoß arbeiten (Drachen-, Schrauben-, Schwingenflieger), scharf zu unterscheiden von den reinen Reaktionsfliegern. Die Behandlung der erstgenannten Flieger als Reaktionsflieger ist deshalb prinzipiell unzulässig und führt zu schweren Trugschlüssen. Für die praktische Anwendung kommen die reinen Reaktionsflieger wegen ihrer geringen Ökonomie nicht in Betracht.

Auf Grund langjähriger theoretischer Studien habe ich eine neue Type eines aerodynamischen Sustensors ausgearbeitet und auch schon experimentell studiert. Dieser basiert nicht auf dem Reaktionsprinzipe und scheint einen wesentlich günstigeren Effekt zu ergeben als alle bisher erprobten Systeme. Die Theorie der neuen Type ist außerordentlich interessant. Da die Studien noch nicht abgeschlossen sind, muß die genauere Beschreibung einer späteren Publikation vorbehalten

Digitized by Google

bleiben. Es sollte hier bloß darauf hingewiesen werden, daß man noch immer mit der Möglichkeit neuer rationellerer Typen, als die bisher bekannten Systeme sind, wird rechnen müssen. Es erscheint deshalb auch ganz unzulässig, die Theorie aller noch möglichen aerodynamischen Flieger auf das Reaktionsprinzip allein aufbauen zu wollen, wie dies auch in den neuesten Publikationen vielfach der Fall ist.

10. Ergebnisse der vorausgehenden Untersuchungen.

Der bloß aus einer oder mehreren Tragflächen bestehende Gleitflieger ermöglicht nur ein schiefes Abgleiten durch die Luft. Rüstet man den Gleitflieger mit einem Propeller aus, so wird die Gleitbahn verflacht. Der Gleitflieger geht in den Motorgleitflieger über. Wird der Gleitwinkel Null, verschwindet also das Gefälle, so haben wir einen Drachenflieger, wenn der Propeller bloß horizontal ziehend wirkt, einen Schwingenflieger, wenn der Propeller mit der Tragfläche identisch ist. Erzeugt der Propeller außer einem Vortrieb auch einen Auftrieb, so kann die Tragfläche entsprechend vermindert oder auch ganz eliminiert werden. Wir haben dann einen Schraubenflieger vor uns. Die drei Haupttypen dynamischer Flieger gehen also genetisch ineinander über.

Da die Schwerkraft lotrecht nach unten wirkt, erscheint es zweckmäßig, alle wirkenden Kräfte stets in eine lotrechte und eine horizontale Komponente zu zerlegen. Wir erhalten dann für den stationären Flug, wo sich der Schwerpunkt mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt, die Resultierende aller wirkenden Kräfte also gleich Null wird, zwei Zustandsgleichungen. Die eine gibt die Gleichgewichtsbedingung der lotrechten, die zweite jene der horizontalen Kraftkomponenten an. Dazu kommt noch als dritte Zustandsgleichung die Arbeitsgleichung, welche die Beziehung zwischen der zu leistenden Flugarbeit und der maximalen Motorarbeit angibt. Zur vollständigen Charakterisierung der stationären Bewegung ist noch eine Bedingungsgleichung erforderlich, die ausdrückt, daß die Summe der Drehmomente aller wirkenden Kräfte in bezug auf einen beliebigen Punkt des Systems verschwindet. Auf diese Stabilitätsbedingung wurde hier zur Vereinfachung der Darstellung nicht eingegangen.

Die dritte Zustandsgleichung, die Arbeitsgleichung, läßt sich allgemein für alle drei Typen in der Form schreiben

$$A_m = \alpha_k \cdot G \cdot V_x$$

Dabei bezeichnet V_x beim Drachen- und Schwingenflieger die Translationsgeschwindigkeit, beim Schraubenflieger die Rotationsgeschwindigkeit des Druckmittelpunktes und α_k einen von den Dimensionen und der spezifischen Konstruktion des Apparates abhängigen Koeffizienten.

Bei gleichen Weiten von G und V_x würde jene Flugmaschinentype, vom rein theoretischen Standpunkte aus betrachtet, die größte Ökonomie aufweisen, bei welcher α_k den kleinsten Wert annimmt. Da es derzeit ausgeschlossen erscheint, über die Werte von α_k bei konkreten Konstruktionen zureichende Kalkulationen anzustellen, muß die Frage, welche Flugmaschinentype die zweckmäßigste wäre, nach

Digitized by Google

dem heutigen Stande der Theorie als nicht lösbar bezeichnet werden. Wenn auch der Drachenflieger augenblicklich die größten Chancen des Erfolges hat und seine Flugfähigkeit bereits praktisch erwiesen ist, darf man daraus keineswegs allzuweit gehende Schlüsse ziehen. Vom rein theoretischen Standpunkte aus wird man alle drei Haupttypen nahe als gleichwertig ansehen dürfen. Ein Mangel des Drachenfliegers ist, daß er kein Schwebevermögen besitzt. Der Schraubenflieger wieder erscheint ohne genügend große Tragflächen, die im Falle eines Akzidens als Sicherheitsfallschirm wirken, praktisch nicht verwendbar. Die Konstruktion des Schwingenfliegers stößt derzeit auf kaum überwindliche technische Hindernisse. Daraus folgt, daß weder der reine Drachenflieger noch auch der reine Schraubenflieger das ideale Flugvehikel sein dürfte, sondern vielleicht eine zweckmäßige Kombination beider Systeme. Die vorausgehenden Untersuchungen geben eine Handhabe, nach welcher Richtung sich die Bemühungen um eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Drachen- und Schraubenflieger zu bewegen haben.

Die Grundlage der vorausstehenden Ausführungen bilden zwei im Wiener Flugtechnischen Vereine im Jahre 1897 gehaltene Vorträge und die in „Ill. aeronaut. Mitteilungen, Straßburg 1904“ publizierte Arbeit des Autors: „Die physikalischen Grundlagen des ballonfreien Fluges.“

Luftwiderstandstheorien auf empirischer Basis.

Die hydrodynamischen Gleichungen geben wohl eine ziemlich zutreffende quantitative Beschreibung der physikalischen Eigenschaften strömender Flüssigkeiten. Ihrer praktischen Verwertung stehen aber große Hindernisse in dem Weg, da die Integration bisher bloß für wenige ideale Fälle gelungen ist. Ferner erscheint der Gültigkeitsbereich der Stokesschen Gleichungen für große Geschwindigkeiten noch nicht erwiesen. Man hat deshalb auf anderen Wegen die Grundlagen für eine praktisch verwendbare Theorie zu schaffen gesucht, bisher aber nur mit geringem Erfolg, weil in den meisten Fällen noch die experimentelle Basis fehlt. Es soll hier bloß auf einige der wesentlichsten Punkte hingewiesen werden, die flugtechnisch von Belang sind.

Newton behandelt im zweiten Buche seines Hauptwerkes „Philosophiae naturalis principia mathematica“ das Problem des hydrodynamischen Widerstandes. Er stellte auch zahlreiche Versuche über den Widerstand in Wasser und Luft an. Es wurde die Falldauer von Glaskugeln und Schweinsblasen in der St. Paulskirche gemessen. Die Methode war allerdings keiner großen Genauigkeit fähig. Es ergab sich, daß der Widerstand nahe proportional der Dichte und dem Quadrate der Geschwindigkeit gesetzt werden kann. Newton behandelt eine große Reihe von Problemen nach der Stoßtheorie. Er greift ein bestimmtes Flüssigkeitsteilchen heraus und sieht dieses wie eine gegen einen Körper stoßende Kugel an. Erfolgt der Stoß schief gegen eine Fläche, so wird er in zwei Komponenten zerlegt, eine senkrechte und eine tangentiale. Diese wird als wirkungslos angesehen. Beim schrägen Luftstoß setzt Newton den Druck in der Stromrichtung pro-

Digitized by Google

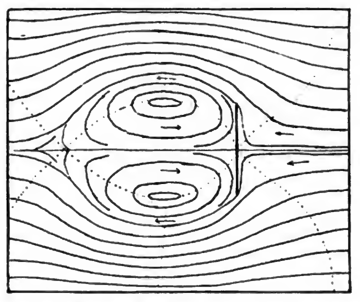


Fig. 212. Schematische Darstellung der Stromlinien um einen in Wasser bewegten plattenförmigen Körper von quadratischer Form bei rechtwinkliger Inzidenz. (Nach Ahlborn.)

Das Wasser strömt in der Pfeilrichtung. Die punktierten Linien geben das Gebiet des Druckmaximums an, in dem die Aufstauung am größten, die Strömungsgeschwindigkeit am kleinsten ist. Die punktierte Linie, welche von oben nach unten läuft, gibt das Gebiet des absoluten Druckminimums, wo die Stromlinien am engsten aneinander liegen und die Strömungsgeschwindigkeit den größten Wert erreicht.

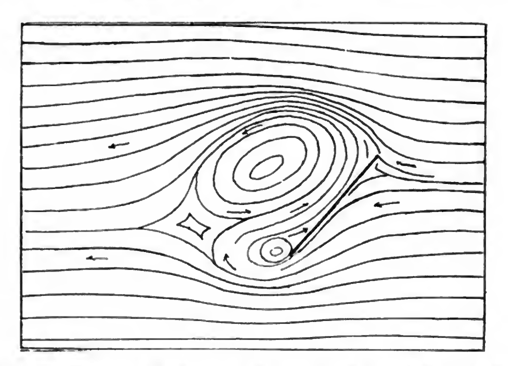


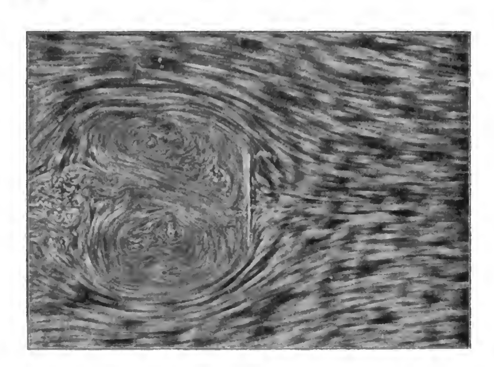
Fig. 213. Schematische Darstellung der Stromlinien um einen in Wasser bewegten plattenförmigen Körper bei schräger Inzidenz. (Nach Ahlborn.)

portional dem Sinus der Inklination. Der Normaldruck wird damit proportional dem Quadrate des Sinus der Inklination. Die Gesetze für den senkrechten und schrägen Stoß sieht Newton als Elementar-

Digitized by Google

gesetze des Luftwiderstandes an und verwendet sie zur Bestimmung des Widerstandes gegen beliebig geformte Körper, sowie auch zur Lösung des Problems des kleinsten Widerstandes.

Bossut zeigte schon 1777 auf Grund zahlreicher, sehr sorgfältig und systematisch angestellter Schleppversuche in großen Wasserbecken, daß das Newtonsche Sinusquadratgesetz beim schrägen Stoß nicht zutreffend ist. Die Abweichung ist um so größer, je kleiner die Inklination wird.



J. Weisbach II (1857) p. 737

Fig. 214. Momentphotographie der Wasserstromlinien einer ebenen Platte bei senkrechtem Luftstoß nach Ahlborn.

In das Wasser wird Bärlappsamen gestreut und eine Kamera, an der die Versuchsplatte fixiert ist, mit gleichförmiger Geschwindigkeit über den Wasserspiegel horizontal verschoben. Stromlinien einer quadratischen Platte. Vor der Platte findet eine Aufstauung der Wasserfäden statt. Ein Stauhügel im Sinne der Loesslschen Theorie ist nicht ersichtlich. Zu beiden Seiten der Fläche fließt das Wasser mit zunehmender Geschwindigkeit in nahe kreisförmigen Bogen ab. Parallele Stromlinien deuten Druckgleichheit an, konvergierende Stromlinien zunehmende Stromgeschwindigkeit und abnehmenden Druck, divergierende Stromlinien weisen auf abnehmende Stromgeschwindigkeit, Auftauung und Druckvermehrung. Hinter der Fläche entsteht infolge der Saugwirkung ein Rückstrom in der Translationsrichtung. Unter dem Einfluß der seitlich abfließenden Stromteile und des Rückstromes bilden sich hinter der Fläche zwei stationäre Wirbel aus, die „Schleppe" nach Ahlborn. Diese Schleppe ist in ihrer Form und Ausdehnung sehr veränderlich.

Die Newtonsche Stoßtheorie wurde wieder aufgenommen von F. v. Loessl und in manchen Punkten ausgebaut, ohne daß es jedoch gelungen wäre, die prinzipiellen Schwierigkeiten zu beseitigen. Auch nach Loessl ist die Ursache des Luftwiderstandes in dem Reaktionsdruck der mit dem bewegten Körper zusammentreffenden Luftteilchen zu suchen. Diese stoßen aber nicht unmittelbar gegen die Oberfläche des bewegten Körpers, sondern gegen den „Lufthügel", der sich nach Loessl über der Fläche aufbaut. Der Lufthügel stellt

Digitized by Google

eine aus komprimierter Luft gebildete, dem bewegten Körper vorgesetzte Spitze dar. Die auf die Seitenflächen des Lufthügels auftreffenden Luftteilchen werden nach Loessl rechtwinklig zur Bewegungsrichtung abgelenkt. Sie sollen dabei ein ihrem Inhalte gleiches Luftvolumen verdrängen, das die sog. „Corona" bildet. Der Reaktionsdruck der seitlich entweichenden Luft stellt den Luftwiderstand dar, der sich durch Vermittlung der Luft des Stauhügels auf die Fläche überträgt. Auch auf schrägen Flächen baut sich nach Loessl ein Lufthügel auf, dessen Reaktionsstoß die Intensität des Luftwiderstandes gibt.

Loessl suchte seine Theorie durch zahlreiche und sorgfältig angestellte Versuche mit Rundlaufapparaten scheinbar zu stützen. Als

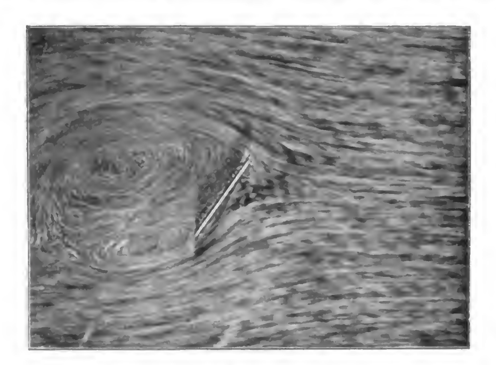


Fig. 215. Stromlinien bei schiefer Lage der Versuchsplatte.

Strom teilt sich vor der Fläche, ein Teil fließt um den oberen Rand unter stärkerer Ablenkung, der andere Teil des Stromes um den unteren Rand unter geringerer Ablenkung. An der Rückseite bilden die beiden seitlichen Abströme mit dem mittleren Rückstrom (infolge der Saugwirkung) wieder zwei stationäre Wirbel, die in entgegengesetztem Sinne rotieren. (Nach Ahlborn.)

rationelle Erklärung der Luftwiderstandsphänomene kann jedoch die Loesslsche Theorie nicht angesehen werden; denn sie ist vom rein erkenntnistheoretischen und auch vom physikalischen Standpunkte aus nicht annehmbar trotz der scheinbaren mathematischen Fundierung. Eine erkenntnistheoretisch unmögliche Theorie kann auf empirischem Wege aber überhaupt nicht verifiziert werden. Logisch unannehmbar sind für den disziplinierten, philosophisch und physikalisch geschulten Forscher in erster Linie die Hypothese von der „Corona", die Art der Berechnung des Widerstandes aus dem „verdrängten Luftvolumen", die Vorstellung des rechtwinkeligen Ausweichens der Luftteilchen, die geradlinigen Begrenzungslinien des Lufthügels, die Nichtbeachtung der Vorgänge an der Rückseite des bewegten Körpers u. a. m. Die an-

Digitized by Google

gestellten Berechnungen und Beweise sind bloße Scheinbeweise, d. h. sie geben wohl das richtige, mit den empirischen Beobachtungen stimmende Resultat, aber bloß auf Grund der oben angeführten hypothetischen Annahmen. Eine physikalisch annehmbare Theorie darf aber nicht auf Annahmen ad hoc basiert sein, die den berüchtigten scholastischen qualitates occultae auf ein Haar ähneln, eine rationelle Theorie muß vielmehr auf unbestrittenen physikalischen Gesetzen, bzw. Grundanschauungen basieren. Es ist hier nicht der Ort, näher auf diese Fragen einzugehen. Es sei diesbezüglich auf die Werke von Mach, insbesondere auch auf dessen „Erkenntnis und Irrtum“ verwiesen. Wegen der weiteren Kritik der Loesslschen Theorie muß auf die „Flug-



Fig. 216. Stromlinien zweier hintereinander liegender Flächen.

Zweite Fläche im „Stromschatten“ der vorderen gelegen, bewirkt erhebliche Druckverminderung gegen die zweite Platte. Auf ihrer vorderen Seite erfährt der Strom fast keine Ablenkung mehr. Schleppe hinter der zweiten Fläche gut ausgebildet, trägt den Hauptanteil an dem auftretenden Drucke. (Nach Ahlborn.)

technischen Studien“ von Popper in der Zeitschrift für Luftschiffahrt, Berlin 1896 und 1899, aufmerksam gemacht werden.

Zur Aufstellung einer physikalisch begründeten Theorie des Luftwiderstandes fehlen derzeit noch die zureichenden experimentellen Grundlagen. Man hat bisher immer nur die Resultierende des Luftwiderstandes gegen den ganzen Körper oder gegen die ganze bewegte Fläche gemessen und deren Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Dimensionen, Dichte usw. untersucht. Einen besseren Einblick in den Mechanismus des Luftwiderstandes werden wir aber erst gewinnen können, wenn wir die Bahnen der Luftteilchen experimentell festlegen, den Druck an den verschiedenen Punkten der Oberfläche des Körpers und auch in größeren Distanzen an der Vor- und Rückseite messen und die Änderungen mit der Dimensionierung, Form der Widerstands-

Digitized by Google

körper, Geschwindigkeit, Dichte usw. verfolgen. Wertvolle Bausteine für eine derartige rationelle Widerstandstheorie bilden in erster Linie die Untersuchungen von Ahlborn allerdings nur für den Widerstand des Wassers. Die prinzipiellen Ergebnisse können qualitativ wohl auch für den Luftwiderstand als gültig angesehen werden. Ahlborn hat die Bahnen der Wasserteilchen, bzw. suspendierter kleinster Körperchen vor einem Hindernis, das durch die ruhige Flüssigkeit vorwärts bewegt wird, auf photographischem Wege festgehalten. Er fand eine genügende Übereinstimmung mit den Folgerungen der theoretischen Hydrodynamik und demgemäß ein völliges Abweichen von der Loesslschen Stoßtheorie. Es ergab sich auch, daß ein stationärer Stauhügel gemäß der Loesslschen Theorie nicht vorhanden ist. Damit ist diese Theorie auch experimentell als unhaltbar erwiesen.

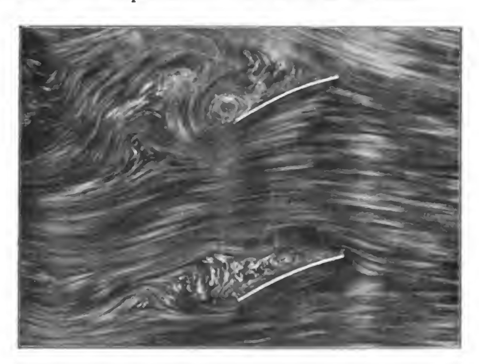


Fig. 217. Stromlinien zweier übereinander liegenden schwach gewölbten Flächen.

Das Strömungsbild zeigt nahezu keine Störung, beide Flächen beeinflussen einander nicht in nennenswerter Weise, tritt keine merkliche „Interferenz" ein. (Nach Ahlborn.)

So lange eine rationelle Luftwiderstandstheorie nicht vorhanden ist, werden wir uns eben an die empirischen Tatsachen halten müssen, und die praktische Aerodynamik wird bis dahin wie die Hydraulik ein „Machtgebiet der Koeffizienten" bleiben. Lieber keine Theorie als eine, die a priori physikalisch unhaltbar ist! Zu diesen Pseudotheorien gehören außer den erwähnten auch alle vermeintlichen Ableitungen des Luftwiderstandsgesetzes bei senkrechtem und schiefem Stoß gegen ebene Flächen.

Der älteste dieser Pseudobeweise dürfte vielleicht der von Poncelet in seiner „Mécanique Industrielle" vom Jahre 1839 gegebene sein. Er basiert auf der Berechnung des Volumens der „verdrängten Luft". Alle derartigen vermeintlichen Beweise entbehren der physikali-

Digitized by Google

schen Begründung. Man findet aber selbst in flugtechnischen Schriften aus neuester Zeit noch immer Berechnungen des Luftwiderstandes auf Grund des „verdrängten" Luftvolumens. Auch unzulässige Kräfte- und Geschwindigkeitszerlegung werden gelegentlich noch angewandt. Es sei deshalb nochmals betont: Zerlegt darf bloß die Resultierende des Widerstandes werden, nicht aber die Geschwindigkeit. Alle Widerstandsbestimmungen auf Grund des verdrängten Luftvolumens sind als unzulässig zu vermeiden.

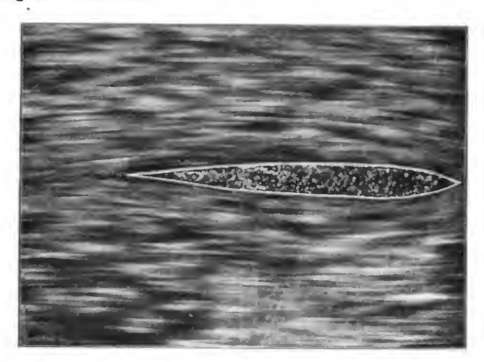


Fig. 218. Strömungslinien eines torpedoförmigen Körpers.
An der Stirnseite sanfte Ablenkung der Stromlinien nach außen, umfließen in sanftem Bogen den Versuchskörper und schließen sich gegen den Achterteil wieder zusammen, wobei sie noch einen Schub nach vorne erzeugen. Günstigste Körperform für die Verminderung des Stirnwiderstandes. (Nach Ahlborn.)

Einige wichtige physikalische Sätze.

Wir können die in der Flugtechnik in Betracht kommenden Kräfte statisch oder dynamisch messen, statisch durch Gewichte und dynamisch durch die erzeugten Beschleunigungen.

Ist m die Masse eines Körpers, γ die Beschleunigung, so setzen wir die Intensität einer Kraft K proportional der Beschleunigung, also $K = m \cdot \gamma$ oder bei veränderlicher Beschleunigung $K = m \cdot dv / dt = d(mv) / dt$. Daraus folgt

$K \cdot dt = d(mv)$ und $\int_0^t K\,dt = mv - mv_0$. Für $t = 1$ wird $K = mv$.

Wir erhalten weiters $Kv\;dt = mv\;dv$ und, weil $ds / dt = dv$

$K\,ds = m\,v\,dv$, sowie $\int_{s_0}^{s} K\,ds = m \int_{v_0}^{v} v\;dv = \frac{1}{2}\,m\,v^2 - \frac{1}{2}\,m\,v_0^2$.

Digitized by Google

Wir können also die Intensität einer Kraft definieren durch

$$\int_0^t K \,.\, dt = m v - m v_0 \qquad (1)$$

oder durch

$$\int_{s_0}^{s} K \,.\, ds = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 \qquad (2)$$

d. i. entweder durch die Änderung der Bewegungsgröße m . v in dem Zeitelemente dt oder durch die Änderung der kinetischen Energie $\frac{1}{2} m v^2$, welche eintritt, wenn die Kraft auf dem Wegelemente ds Arbeit leistet. Die Intensität des Luftwiderstandes gegen einen Körper, der sich durch ruhige Luft mit der Geschwindigkeit v bewegt, kann demnach durch die Beobachtung der Geschwindigkeitsänderung in dem Zeitelemente dt oder auch auf dem Wegelemente ds gefunden werden. Im ersten Falle wird die Intensität der Kraft durch das Zeitintegral $\int_0^t K\, dt$, im zweiten durch das Wegintegral $\int_0^s K\, ds$ definiert.

Ist die Kraft von konstanter Größe, so gibt Gleichung 1

$$K = m v - m v_0 \qquad (3)$$

und Gleichung 2

$$K \,.\, s = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2. \qquad (4)$$

Im ersten Falle ist die Kraft numerisch gleich der Änderung der Bewegungsgröße in der Zeiteinheit, im zweiten der Änderung der kinetischen Energie auf dem Wege pro Zeiteinheit. Da bei konstanter Kraft s = v/2 ist, folgt Gleichung 4 unmittelbar aus 3 und umgekehrt.

Jede rationelle Gleichung zwischen physikalischen Größen muß dem Identitätssatze Genüge leisten, d. h. es müssen zu beiden Seiten des Gleichheitszeichens nicht nur numerisch, sondern auch dimensionell dieselben Größen stehen. Führen wir die auf den beiden Seiten der Gleichung stehenden Größen auf die Grundeinheiten: Masse (m), Zeit (t) und Länge (l) zurück, so müssen diese beiderseits mit demselben Exponenten versehen auftreten.

Bei langsamen Bewegungen ist nach den Stokesschen Gleichungen der Widerstand gegen eine Kugel bei unendlicher Gr $W = 6\, \mu \pi a V$.

Wir stellen für die rechter Seite stehenden Größen die Dimensionen ein. Zufolge dessen physikalischer Definition ist die Dimension von μ bestimmt durch $(m) \,.\, (l^{-1}) \,.\, (t^{-1})$. Die Dimension von a ist als Länge (l), von V als Geschwindigkeit, die durch das Verhältnis von Länge und Zeit bestimmt ist $(l) \,.\, (t^{-1})$. Die Größe π hat als reine Zahl ebenso wie 6 keine Dimension. Wir erhalten also als Dimension der rechten Seite $(m)(l^{-1})(t^{-1}) \,.\, (l) \,.\, (l)(t^{-1}) = (m)(l)(t^{-2})$. Auf der linken Seite steht eine Kraft. Diese ist definiert durch Masse und Beschleunigung. Die Dimension der Beschleunigung ist als Verhältnis der Geschwindigkeitsänderung zur Zeit definiert durch $(l)(t^{-2})$. Die Dimension von W ist demnach $(m)(l)(t^{-2})$, also identisch mit der Dimension rechter Seite.

Digitized by Google

Die Methode der Dimensionen kann auch benützt werden zur Aufstellung empirischer Formeln. Schreiben wir z. B. den Widerstand einer Kugel bei turbulenter Bewegung in der Form $W = k \cdot a^x \cdot \rho^y \cdot \nu^z \cdot V^n$, so erhält man die Dimensionsgleichung

$$\frac{(m) \cdot (l)}{(t^2)} = (l^x) \cdot \left(\frac{m}{l^3}\right)^y \cdot \left(\frac{l^2}{t}\right)^z \cdot \left(\frac{l}{t}\right)^n.$$

Soll dieser Genüge geleistet sein, so müssen die Beziehungen erfüllt sein

$$y = 1;\ z + n = 2;\ x - 3y + 2z + n = 1$$

Daraus folgt

$$y = 1,\quad z = 2 - n,\quad x = n$$

also lautet die Widerstandsgleichung

$$W = k \cdot \rho \cdot \nu^{2-n} \cdot (a\,V)^n.$$

Dem Physiker sind die im vorausgehenden dargelegten Sätze längst geläufig. In aeronautischen und flugtechnischen Schriften trifft man aber noch immer auf Verstöße gegen diese elementaren Regeln, weshalb es wünschenswert schien, kurz darauf hinzuweisen.

Allgemeine Hydrodynamik in ihrer Beziehung zur Flugtechnik und Aeronautik.

Die theoretische Hydrodynamik beschäftigt sich zunächst mit idealen Flüssigkeiten. Diese sind dadurch charakterisiert, daß die auf zwei benachbarte Elemente wirkenden Kräfte senkrecht stehen zur gemeinsamen Oberfläche. Sind u, v, w die rechtwinkeligen Geschwindigkeitskomponenten eines Massenteilchens, dessen Dichte ρ ist, ist weiters p der Flüssigkeitsdruck gegen die Masseneinheit und bezeichnen wir mit X, Y, Z die Komponenten der äußeren Kraft auf die Masseneinheit, so haben wir die drei Differentialgleichungen der Bewegung

$$\rho \cdot \frac{du}{dt} = \rho \cdot X - \frac{\partial p}{\partial x}\ (1);\quad \rho \frac{dv}{dt} = \rho\, Y - \frac{\partial p}{\partial y}\ (2);\quad \rho \frac{dw}{dt} = \rho\, Z - \frac{\partial p}{\partial z}\ (3).$$

Da u eine Funktion der Koordinaten x, y, z des Massenelementes und der Zeit ist, folgt

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}.$$

In analoger Weise können wir dv/dt und dw/dt auflösen. Damit erhalten wir die Gn 1—3 in der Form

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \qquad (A)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = Y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \qquad (B)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z}. \qquad (C)$$

Digitized by Google

Bezeichnet V das Volumen eines bewegten Flüssigkeitselementes, so haben wir wegen der Konstanz der Masse

$$\frac{d \rho V}{d t} = 0$$

oder

$$\frac{d \rho}{d t} \cdot V + \rho \frac{d V}{d t} = 0.$$

Daraus folgt

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0. \qquad \text{(D)}$$

Aus der physikalischen Natur der Flüssigkeit ergibt sich weiters eine Beziehung zwischen p und ρ. Für Gase haben wir bei konstanter

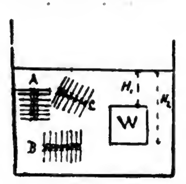


Fig. 219. Hydrostastischer Druck und Auftrieb in unbewegten Flüssigkeiten. Flüssigkeitsdruck gegen beide Seiten der eingetauchten Flächen *A*, *B*, *C* gleich, also von der Lage der Fläche unabhängig. Größe des Druckes wächst proportional der Druckhöhe. Wir grenzen in der Flüssigkeit würfelförmigen Raum *W* ab (Gefäß mit gewichtlos gedachten Wänden). Druck gegen obere Wand proportional der Flüssigkeitssäule H_1, Druck gegen untere Wand proportional H_2; Überdruck gegen untere Wand deshalb $(H_2 - H_1)$ = Gewicht der Flüssigkeit im abgegrenzten Würfelraume. Weil der Flüssigkeitswürfel erfahrungsgemäß von dem umgebenden Medium getragen wird, da sonst eine fortdauernde Bewegung erfolgen müßte, müssen wir annehmen, daß der Überdruck gegen die Unterwand (Auftrieb) gleich ist dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit.

Temperatur $p = k \cdot \rho$, bei adiabatischen Temperaturänderungen $p = k \cdot \rho^{\nu}$, wo k eine Konstante und ν das Verhältnis der spezifischen Wärmen bezeichnet. Allgemein können wir setzen

$$p = f(\rho). \qquad \text{(E)}$$

Die fünf Gleichungen A bis E genügen zur Bestimmung der fünf Größen u, v, w, p und ρ. Die Integration der Gleichungen kann leicht durchgeführt werden, wenn die äußeren Kräfte und die Geschwindigkeitskomponenten den Gleichungen genügen

$$X = \frac{\partial \psi}{\partial x}; \quad Y = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad Z = \frac{\partial \psi}{\partial z} \qquad (4)$$

und

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad w = \frac{\partial \varphi}{\partial z} \qquad (5)$$

Setzen wir $V^2 = u^2 + v^2 + w^2$, so ergibt die Integration der Eulerschen Grundgleichungen der Hydrodynamik (A, B, C)

Digitized by Google

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2} V^2 = \psi - \int \frac{\partial p}{\rho} + F(t) \qquad (6)$$

wo F(t) eine willkürliche Funktion von t bedeutet. Wir können damit Geschwindigkeit, Druck und Dichtigkeit in allen Punkten des Raumes, den die Flüssigkeit in jedem Augenblicke erfüllt, bestimmen.

Wir ziehen durch die ganze Masse der Flüssigkeit Linien, deren Richtung in jedem Punkte die Richtung der Geschwindigkeit angibt und nennen diese die Stromlinien im betrachteten Augenblicke. Sie sind definiert durch

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dw}{w}$$

Wenn die Gleichung 5 erfüllt ist, also ein Geschwindigkeitspotential φ existiert, stehen die Stromlinien senkrecht auf einer Schar von Oberflächen definiert durch $\varphi = \text{const.}$ Wir nennen diese Flächen gleichen Potentiales. Die Geschwindigkeit in irgendeinem Punkte ist

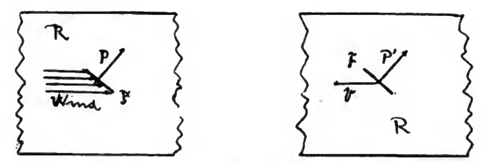


Fig. 220 A, B. Hydrodynamischer Flüssigkeitsdruck.

A. In strömender Flüssigkeit steht der Druck, wenn wir die Reibung vernachlässigen, senkrecht zum Flächenelemente; seine Größe ist aber abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit, der Form und Größe des angeströmten Körpers, von der Weite des Raumes (Rohres, Gefäß) in dem die Flüssigkeit strömt usw. — B. Bewegt sich die Fläche *F* im Raume *R* entsteht ein Überdruck *P'*, ein hydrodynamischer Druck, Luftwiderstand. Dieser ist gleichfalls abhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit, Form und Dimension des bewegten Körpers usw.

umgekehrt proportional der Distanz zweier aufeinanderfolgender Flächen gleichen Potentiales in der Nähe dieses Punktes. Das System der Stromlinien und der Potentialflächen gibt demnach in jedem Augenblicke ein anschauliches Abbild der Geschwindigkeit nach Richtung und Größe im ganzen Bereiche des Strömungsfeldes.

Ist die Geschwindigkeit aller Flüssigkeitselemente nach Größe und Richtung konstant, so bezeichnen wir die Strömung als stationär. In diesem Falle ist

$$\frac{\partial u}{\partial t} = o; \qquad \frac{\partial v}{\partial t} = o; \qquad \frac{\partial w}{\partial t} = o \qquad (7)$$

Bei stationärer Strömung bleiben die Stromlinien unveränderlich, sie fallen zusammen mit den Bahnen der Teilchen. Die Gleichung lautet jetzt

$$\int \frac{dp}{\rho} = \psi - \frac{1}{2} V^2 + C$$

Ist die Kompressibilität der Flüssigkeit so gering, daß wir ρ konstant setzen können, und fehlen äußere Kräfte, so wird aus

$$p + \frac{1}{2} \rho \, . \, V^2 = p_0 \qquad (8)$$

Die Strömung bedingt demnach eine Druckabnahme. Diese ist proportional der Dichte und dem Quadrate der Geschwindigkeit.

Die Gleichung 8 folgt auch unmittelbar aus dem Prinzip der Energie, wenn wir den Energietransport in einem fiktiven, durch Stromlinien gebildeten Rohre betrachten. Als Folge der stationären Bewegung muß derselbe Energiebetrag in einer gegebenen Zeit längs jedes Querschnittes des Rohres transportiert werden. Die dem Vorbeifließen der Volumseinheit entsprechende Energie ist $p + \frac{1}{2} \rho V^2$. Das erste Glied stellt die potentielle, das zweite die kinetische Energie dar; die Summe $p + \frac{1}{2} \rho V^2$ muß denselben Wert behalten für alle Punkte derselben Stromlinie. Die Gleichung 8 gilt also unter der Bedingung, daß eine restlose Umsetzung der potentiellen in kinetische Energie stattfindet ohne Änderung der Strömungsrichtung der Flüssigkeitselemente. Es müssen also Wärmetönungen und Wirbelbildungen ausgeschlossen werden, wozu in einer idealen Flüssigkeit ja auch kein Anlaß ist.

Wird $\frac{1}{2} V^2 \rho > p$, so nimmt p einen negativen Wert an. Da Flüssigkeiten schon bei sehr schwachen Zugkräften zerreißen, muß die Bewegung unstetig werden, sowie die Geschwindigkeit eine bestimmte Grenze überschreitet. Derartige Unstetigkeiten entstehen, wenn die Flüssigkeit an einem Körper mit scharfen Ecken vorbeiströmt; es zeigt sich in solchen Fällen stets das Bestreben zur Bildung eines „toten Raumes" hinter dem Hindernis. Von der Oberfläche des Körpers ausgehend, treten Trennungs- oder Diskontinuitätsflächen auf, längs welcher der Druck derselbe, aber die Geschwindigkeit um einen endlichen Wert verschieden ist.

Die Eulerschen Gleichungen reichen zur quantitativen Beschreibung der Eigenschaften physischer Flüssigkeiten nicht aus. Eine in einem Gefäße rotierende Flüssigkeitsmasse kommt allmählich zur Ruhe. Wir müssen deshalb auch das Vorhandensein tangentieller Kräfte zwischen zwei benachbarten Flüssigkeitsteilchen annehmen. Diese Tangentialkräfte sind abhängig von der Natur der Flüssigkeit und der relativen Geschwindigkeit, mit der zwei benachbarte Flüssigkeitsschichten aneinander vorbeigleiten. Wir bezeichnen sie als innere Reibung. Mit Berücksichtigung dieser hat Stokes den Eulerschen Gl die Form gegeben

$$\rho \frac{du}{dt} = \rho X - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho Y - \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \frac{dw}{dt} = \rho Z - \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

Digitized by Google

Dabei bezeichnet μ den Reibungskoeffizienten der Flüssigkeit. Die Stokesschen Gleichungen gelten aber streng nur für langsame Bewegungen, bei denen also die Quadrate der Geschwindigkeiten vernachlässigt werden können.

Das für die theoretische und praktische Flugtechnik und Aeronautik wichtigste Problem der allgemeinen Hydrodynamik bildet das Widerstandsproblem. Dieses besteht darin, den Luftwiderstand und Winddruck für Körper beliebiger Form und Größe zu bestimmen.

Wir tauchen einen symmetrischen Körper in eine gleichförmige Strömung, so daß die Strömung senkrecht zur Symmetrieebene gerichtet ist. Aus den Eulerschen Gleichungen folgt, daß der Körper in einer idealen Flüssigkeit keinen Widerstand erfährt. Die Stromlinien teilen sich vor dem Körper, umfließen diesen und schließen sich hinter ihm wieder zusammen. Der Druck gegen die vordere Seite wird durch den gleich großen, aber entgegengesetzt gerichteten gegen die

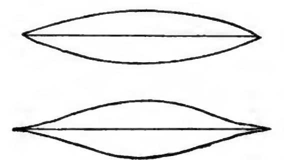


Fig. 221. Dirichletsche Körper.

Von der Reibung abgesehen (in idealen Flüssigkeiten), erfahren derartige spindel- oder schiffförmige Körper keinen Translationswiderstand. Nach Jäger und Joukovsky gilt dieser Satz auch allgemein für jede beliebige Körperform.

hintere Seite aufgehoben. Der resultierende Druck gegen den Körper ist deshalb Null. G. Jäger (Wien) und Joukovsky haben gezeigt, daß derselbe Satz auch für jeden beliebigen Körper gilt. Dieses Ergebnis steht im vollen Widerspruche mit der Erfahrung, die lehrt, daß in physischen Flüssigkeiten gegen jeden Körper ein meßbarer Widerstand ausgeübt wird.

Nimmt man auf die innere Reibung Rücksicht, so folgt aus den Stokesschen Gleichungen, daß auch bei der gleichförmigen Strömung gegen einen symmetrischen Körper ein effektiver Widerstand auftritt.

Für langsame Bewegungen, bei denen die Geschwindigkeit so klein ist, daß Produkte von der Form $u \cdot \frac{\partial u}{\partial x}$ usw. vernachlässigt werden können, nehmen im Falle stationärer Strömung die Stokesschen Gleichungen bei inkompressiblen Flüssigkeiten die Form an

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) + \frac{\mu}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z}\right)$$

und zwei analoge für $\frac{\partial p}{\partial y}$ und $\frac{\partial p}{\partial z}$. Setzen wir

Digitized by Google

$$K = k\varkappa;\ U = n u,\ V = n v,\ W = n w;\ X = m x,\ Y = m y,\ Z = m z$$

$$P = \frac{k n}{m} p + C$$

so erfüllen auch diese Werte die Gleichungen. Darnach wächst der Widerstand, den ein Körper in einer stationären Strömung erfährt, proportional der Geschwindigkeit und dem Reibungskoeffizienten.

Wird eine Kugel vom Radius in eine gleichförmig mit der Geschwindigkeit V strömende Flüssigkeit getaucht, so erfährt sie einen Widerstand W, der zwischen den Werten $W = 4\pi\mu a V$ und $W = 6\pi\mu a V$ liegt, je nachdem an der Oberfläche kein Gleiten oder völliges Gleiten stattfindet. Im ersten Falle ist also der Koeffizient der gleitenden Reibung $\beta = \infty$, im zweiten ist $\beta = 0$.

Für rasche Bewegungen gelten die Stokesschen Gleichungen im allgemeinen nicht. Der Widerstand nimmt dann erfahrungsgemäß proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit zu. G. Jäger hat darauf hingewiesen, daß auch bei größeren Geschwindigkeiten die Anwendung der Gleichungen gestattet ist, wenn es gelingt, der Flüssigkeit eine derartige Bewegung zu erteilen, daß ihre Strömungslinien jenen einer idealen Flüssigkeit möglichst nahe kommen; denn dann muß sich der Widerstand, welcher von den Beschleunigungen herrührt, ebenfalls der Null nähern. Dies ist der Fall bei einem möglichst langgestreckten symmetrischen Körper deren Längsachse in der Strömungsrichtung liegt.

Bei weniger scharf zugespitzten Körpern und bei allen Körpern mit scharfen Ecken und Kanten tritt ein wesentlich verschiedenes Regime ein. Die Kontinuität der Strömung geht verloren. An scharfen Kanten und Ecken müßte die Geschwindigkeit über alle Grenzen groß werden, der Druck müßte deshalb zufolge Gleichung 8 negativ werden. Die Flüssigkeit zerreißt deshalb und es bildet sich eine Trennungsfläche aus. Durch Anwendung der Theorie der Diskontinuitätsflächen auf das Problem des Widerstandes ebener Platten ergibt sich in der Tat ein resultierender Druck proportional dem Quadrate der Strömungsgeschwindigkeit. Hinter der Platte ist nach dieser Theorie die Flüssigkeit in Ruhe. Das Gebiet, innerhalb dessen die Flüssigkeit in Ruhe ist, wird begrenzt durch eine Trennungsfläche, welche die Platte tangential trifft und mathematisch definiert ist durch die Bedingung konstanten Druckes. An der Vorderseite der Platte tritt eine Druckvermehrung ein entsprechend dem Geschwindigkeitsverlust. Für ein sehr langes, schmales Rechteck, dessen Ebene senkrecht gegen den Strom gestellt wird, ergibt sich nach Kirchhoff der Druck pro Flächeneinheit

$$D = \frac{\pi}{4 + \pi} \cdot \rho V^2$$

Der Druck ist nicht gleichförmig über die Fläche verteilt, er erreicht im mittleren Teile einen maximalen Wert und nimmt gegen die Ränder zu ab.

Wird die Platte unter einem Winkel α gegen den Strom schief gestellt, so ist der mittlere Druck gegen die Flächeneinheit nach Rayleigh bestimmt durch

Digitized by Google

$$D_\alpha = \frac{\pi \cdot \sin\alpha}{4 + \pi \sin\alpha} \cdot \rho \cdot V^2$$

Das Druckmaximum tritt an der Stelle auf, wo der Strom sich teilt. Der Druckmittelpunkt liegt an dem Rande, den der Strom zuerst trifft. 2.

Ist l die Breite des Blattes, so ist die Distanz des Druckmittelpunktes x von der Mittellinie der Fläche

$$x = \frac{3}{4} \cdot \frac{l \cdot \cos\alpha}{4 + \pi \sin\alpha} \qquad (1)$$

Wenn die Platte drehbar befestigt ist, so daß sie sich frei drehen kann um eine zu ihren Kanten parallele Achse, gibt obige Gleichung die Lage der Achse entsprechend jedem Neigungswinkel α. Für $\alpha = 90^0$ wird $x = 0$, aus Symmetriegründen. Mit abnehmendem α wächst der zugehörige Wert von x und erreicht ein Maximum i. e. $\frac{3}{16} \cdot l$, wenn $\alpha = 0^0$. Die Achse teilt dann die Breite der Platte im Verhältnis 11 : 5. Daraus folgt: Wenn die Achse die Breite der Platte in einem größeren Verhältnisse als 11 : 5 teilt, gibt es nur eine Stellung stabilen Gleichgewichtes. Dieses tritt ein, wenn die Platte parallel zur Strömung liegt, mit dem schmäleren Teile nach vorn. Wenn die Achse genau in dem Punkte liegt, welcher die Breite im Verhältnis 11 : 5 teilt, befindet sie sich im stabilen Gleichgewicht. Rückt die Achse noch näher der Mittellinie, so wird die Stellung parallel zum Strome unstabil und wird ersetzt durch zwei geneigte Stellungen, die durch Gl 1 gegeben sind. Diese bilden mit dem Strome gleiche Winkel, welche von 0 bis zu einem Rechten wachsen, wenn die Achse gegen das Zentrum rückt. Wird die Achse durch das Zentrum selbst gelegt, so kann die Platte nur dann in Ruhe bleiben, wenn sie senkrecht zum Strome steht.

Für eine lange schmale Zylinderschale mit dem Öffnungswinkel 2α ist nach Kutta der Druck für die Flächeneinheit beim Zylinderradius 1

$$Z = 2 \cdot \frac{\pi}{\alpha} \cdot \sin^2\frac{\alpha}{2} \cdot \rho \cdot V^2$$

Die Zylinderschale hat geradlinige Ränder, die beide gleich hoch liegen mit der konvexen Seite nach oben. Die Strömung erfolgt horizontal. Werden zwei Zylinderschalen übereinander gestellt, so nimmt der Druck gegen die obere etwas zu, jener gegen die untere dagegen stark ab. Der Gesamtdruck ist deshalb geringer als die Summe der Drucke, wenn jede Schale für sich im Strömungsfelde vorhanden ist.

Bei der Frage der Vergrößerung von aerodynamischen Flugkörpern und aerostatischen Luftschiffen spielt das Helmholzsche Theorem geometrisch ähnlicher Bewegungen in Flüssigkeiten eine erhebliche Rolle. Bezeichnen wir mit n das Verhältnis der Geschwindigkeiten, r das der Dichten, q das der inneren Reibungskoeffizienten zweier Flüssigkeiten, in welchen ähnliche Bewegungen vor sich gehen, so müssen die Verhältnisse der Drucke $n^2 r$, der Koordinaten und Dimension $q \mid n$ und der Zeiten $q \mid n^2$ gesetzt werden, wenn die eine Bewegung die Differentialgleichungen und die Kontinuitätsbedingung erfüllt und auch die

Digitized by Google

zweite diesen Genüge leisten soll. Sehen wir von äußeren Kräften ab und führen in die Stokesschen Gleichungen und die Kontinuitätsgleichung folgende Substitutionen ein

$$\mu' = q \cdot \mu; \quad \rho' = r \cdot \rho; \quad u = n u, \quad v' = n v, \quad w' = n w$$

$$x' = \frac{q}{n} \cdot x, \; y' = \frac{q}{n} y, \; z' = \frac{q}{n} z; \quad p' = n^2 r p \text{ und } t' = \frac{q}{n^2} t$$

so erscheinen sämtliche Glieder der Stokesschen Gleichungen mit dem Faktor $n^3 \mid q$ und der Kontinuitätsgleichung mit $r n^2 \mid q$.

Die Verhältniszahlen q und r sind durch die physikalische Natur der beiden Flüssigkeiten gegeben. Bei kompressibeln Flüssigkeiten ist n durch das Verhältnis der Schallgeschwindigkeiten bestimmt und es gibt deshalb nur einen Fall vollkommener Ähnlichkeit. Bei Vernachlässigung der inneren Reibung oder der Kompressibilität, welche um so mehr erlaubt ist, in je größeren Räumen die Bewegungen vor sich gehen, gibt es eine einfache unendliche Reihe, bei Vernachlässigung beider eine doppelt unendliche Reihe ähnlicher Bewegungen.

Der Reaktionsdruck der strömenden Flüssigkeit pro Flächeneinheit gegen einen eingetauchten Körper wächst wie $n^2 r$. In demselben Verhältnisse wachsen die Reibungskräfte, die proportional sind dem Produkte $q \cdot r$ mit Differentialquotienten wie $du \mid dx$ und ähnlichen. Für entsprechend ähnliche Flächenstücke wachsen Druck- und Reibungskräfte wie $\frac{q^2}{n^2} \cdot n^2 r = q^2 \cdot r$. Die Arbeit, die zur Überwindung dieses Widerstandes gebraucht wird, für gleiche Zeiträume genommen, wächst demnach wie $n \cdot q^2 \cdot r$.

Die longitudinale Stabilität von Gleit-, Drachen- und Schwingenfliegern.

Die folgenden Darlegungen gelten für Gleit- und Drachenflieger allgemein und für Schwingenflieger bei Ausführung des Gleit- und Segelfluges, wenn sie sich also ohne Flügelschlag mit ausgespannten Schwingen durch die Luft bewegen. Alle diese Flugkörper sind in bezug auf die transversale Medianebene symmetrisch gebaut. Die transversale Stabilisierung ist, wie in den Ausführungen über den Drachenflieger schon betont wurde, leicht erreichbar. Es soll stets vorausgesetzt werden, daß die betrachteten Apparate transversal vollständig stabil sind, daß also kein Kippmoment in transversaler Richtung vorhanden ist und die durch äußere Kräfte (Windwellen) erregten Schwingungen sehr rasch gedämpft werden.

Die allgemeinen Bewegungsgleichungen.

Der Flugkörper bewege sich als Gleiter in einer Lotebene abwärts. Wir legen durch den Schwerpunkt zwei rechtwinkelige Achsen, auf welche wir die Bewegungen des Flugkörpers beziehen. Die Bewegung wird vollständig bestimmt sein, wenn wir in jedem Augen-

Digitized by Google

blick kennen: 1. den Winkel ϑ, den die x-Achse mit der Vertikalen einschließt und 2. die Geschwindigkeitskomponenten, u, v des Flugkörpers längs der zwei Achsen. Die Winkelgeschwindigkeit der Rotation wird sein $d\vartheta \mid dt = \dot{\vartheta}$. Wir bezeichnen mit m die Masse des Flugkörpers und mit $m.k^2$ sein Trägheitsmoment um den Schwerpunkt.

Wie immer das Gesetz des Widerstandes laute, wird doch der Luftwiderstand gegen die verschiedenen Teile des Systems allgemein eine Funktion von u, v und ϑ sein. Der Luftwiderstand ist äquivalent zwei Kräften längs der Achsen wirkend, welche wir m.x und m.y nennen, und einem Paar m.G in bezug auf den Ursprung, so daß X, Y, G die Kräfte und das Drehpaar bezeichnen, dividiert durch die Masse des Flugkörpers.

Die Gleichungen der Bewegung des Körpers sind;

$$m\left(\frac{du}{dt} - v.\frac{d\vartheta}{dt}\right) = mg\cos\vartheta - m.X \tag{1}$$

$$m\left(\frac{dv}{dt} + u.\frac{d\vartheta}{dt}\right) = -mg\sin\vartheta - m.Y \tag{2}$$

$$m.k^2\,\frac{d^2\vartheta}{dt^2} = -m.G \tag{3}$$

Bei stationärer Bewegung sind u, v und ϑ konstant und die Gleichungen (1), (2), (3) geben

$$0 = g\cos\vartheta - X,\; 0 = -g\sin\vartheta - Y,\; 0 = -G \tag{4—6}$$

Kennt man die Form der Tragfläche und der anderen Bestandteile des Systems und das Luftwiderstandsgesetz, so sind X, Y, G bekannte Funktionen von u, v und ϑ. Bei stationärer Bewegung ist jedoch $\dot{\vartheta} = 0$ und die Gln 4—6 bestimmen deshalb die Werte von u, v und ϑ für die stationäre Bewegung.

Schwingungen um die stationäre Bewegung.

Das System werde ein wenig gestört; die Bewegung hört auf stationär zu sein. Es sei zur Zeit t die Störung dargestellt durch die kleine Zunahme δu, δv, $\delta\vartheta$ in den Werten u, v, ϑ und es sei u_0, v_0, ϑ_0 ihr Wert bei stationärer Bewegung, so daß wir in der gestörten Bewegung haben

$$u = x + \delta u,\; v = v_0 + \delta v,\; \vartheta = \vartheta_0 + \delta\vartheta.$$

Ebenso seien X_0, Y_0, G_0 die Kräfte und das Drehpaar der stationären Bewegung. Dann haben wir im gestörten Zustande, wenn wir kleine Größen zweiter Ordnung vernachlässigen:

$$x = x_0 + \delta u\,.\frac{dX}{du} + \delta v\,\frac{dX}{dv} + \delta\dot{\vartheta}\,\frac{dX}{d\vartheta} = -\ \ldots \tag{7}$$

und zwei ähnliche Gleichungen für Y und G. Wir schreiben

$$dX \mid du = X_u \ldots\; dG \mid \dot{\vartheta} = G_{\dot{\vartheta}}.$$

Durch Einsetzung in die Gleichungen der Bewegung erhalten wir zunächst:

Digitized by Google

$$\frac{d}{dt}\delta u - v_0\frac{d}{dt}\delta\vartheta = -g\sin\vartheta_0\delta\vartheta - X_u\delta u - X_0\delta v - X\dot{\vartheta}.\delta\dot{\vartheta}$$

$$\frac{d}{dt}\delta v + u_0\frac{d}{dt}\delta\vartheta = -g\cos\vartheta_0\delta\vartheta - Y_u\delta u - Y_v\delta v - Y\dot{\vartheta}.\delta\dot{\vartheta}$$

$$k^2.\frac{d^2}{dt^2}(\delta\vartheta) = -G_u\delta u - G_v\delta v - G\dot{\vartheta}\delta\dot{\vartheta}$$

Zur Lösung dieser Gleichungen setzen wir $\delta u = P.e^{\lambda t}$, $\delta v = Q.e^{\lambda t}$, $\delta\vartheta = R\cdot e^{\lambda t}$(7′). Diese Werte substituiert, dividiert durch $e^{\lambda t}$ und die Glieder geordnet, erhalten wir:

$$P(\lambda + X_u) + Q.X_v + R(\lambda X\dot{\vartheta} - \lambda v_0 + g\sin\vartheta_0) = 0$$
$$P.Y_u + Q(\lambda + Y_v) + R(\lambda\cdot Y\dot{\vartheta} + \lambda u_0 + g\cos\vartheta_0) = 0$$
$$P.G_u + Q.G_v + R(\lambda^2 k^2 + \lambda G\dot{\vartheta}) = 0$$

Eliminiert P, Q, R

$$\begin{vmatrix} \lambda + X_u, & X_v, & -\lambda v_0 + \lambda X\dot{\vartheta} + g\sin\vartheta_0 \\ Y_u, & \lambda + Y_v, & \lambda u_0 + \lambda Y\dot{\vartheta} + g\cos\vartheta_0 \\ G_u, & G_v, & \lambda^2 k^2 + \lambda G\dot{\vartheta} \end{vmatrix} = 0$$

Wenn die Determinante entwickelt wird nach Potenzen von λ, erhalten wir eine Gleichung von der Form

$$A.\lambda^4 + B.\lambda^3 + C\lambda^2 + D\lambda + E = 0 \qquad (8)$$

wo

$$A = k^2$$
$$B = k^2(X_u + Y_v) + G\dot{\vartheta} \qquad (9)$$
$$C = k^2(X_u.Y_v - X_v Y_u) + v_0 Gu - u_0 G_v - X\dot{\vartheta}G_u - Y\dot{\vartheta}\,G_v$$
$$D = u_0(X\dot{\vartheta}\,G_u - x_u G_v) + v_0(Y_v G_u - Y_0 G_v) - g\sin\vartheta_0 G_u -$$
$$- g\cos\vartheta_0 G_v + Y\dot{\vartheta}\,(X_v.G_u - X_u.G_v) - X\dot{\vartheta}\,(Y_u G_u - Y_u.G_v) +$$
$$+ G\dot{\vartheta}\,(X_u Y_v - X_v Y_u)$$
$$E = g\cos\vartheta_0(X_v G_u - X_u G_v) - g\sin\vartheta_0(Y_v G_u - Y_u G_v)$$

In vielen Fällen ist es möglich, die Koordinaten so zu legen, daß $\vartheta_0 = 0$ und daß Y und dessen Differentiale verschwinden. Die Koeffizienten nehmen dann folgende einfachere Formen an:

$$A = k^2$$
$$B = k^2.X_u + G\dot{\vartheta}$$
$$C = v_0 G_u - u_0.G_v - X_v\,G_u \qquad (9')$$
$$D = u_0(x_v G_u - X_u G_v) - g_v\,G_v$$
$$E = g(X_v.G_u - X_v G_v).$$

Wenn die stationäre Bewegung stabil sein soll, müssen die Wurzeln der Gl 8 entweder reell und negativ oder komplex und mit ihren reelen Teilen negativ sein. Dies ist der Fall, wenn die sechs Größen A, B, C, D, E und $BCD - AB^2 - EB^2 = H$ alle gleiche Vorzeichen haben. Da A wesentlich positiv ist, müssen die bleibenden fünf Größen alle positiv sein.

Die Berechnung der neun Koeffizienten $X_u \ldots G\dot{\vartheta}$ für ein gegebenes System wird erleichtert, wenn der Widerstand proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit ist, weil X, Y, Z dann homogene quadratische Funktionen von u, v, $\dot{\vartheta}$ werden. Eulers Theorien der homogenen Funktionen gibt mit Rücksicht darauf, daß $\dot{\vartheta} = 0$ unter Anwendung von (4—6)

Digitized by Google

$$u \cdot X_u + v X_v = 2\, g \cos \vartheta$$
$$u \cdot X_u + v X_v = -\, 2\, g \sin \vartheta$$
$$u \cdot G_u + v G_v = 0$$

Wenn V die Gleitgeschwindigkeit bedeutet, sind die Koeffizienten $m\, X_u \ldots\ldots m\, G\, \dot\vartheta$ alle lineare Funktionen von V für einen gegebenen Gleitwinkel. Bei stationärer Bewegung wird m.g gleich dem vertikalen Widerstande und deshalb proportional zu V^2. Wenn m eliminiert wird, sind die Werte von $X_u \ldots\ldots G\, \dot\vartheta$ invers proportional zu V^2. In diesem Falle ist A unabhängig von V, B ist von der Dimension V^{-1}, C von der Form $P + Q . V^{-2}$, D von der Dimension V^{-1}, E von V^{-2} und H nimmt die Form an $P . V^{-2} + Q . V^{-4}$. Die Bedingungen der Stabilität $C > O$ und $H > O$ setzen Grenzen für den Wert von V^2, die verbleibenden Bedingungen hängen bloß von der Form und den Dimensionen des Flugkörpers ab und dem Gleitwinkel.

Wir wollen nun die neun Koeffizienten $X_u \ldots G \vartheta$ berechnen unter der Annahme, daß das Gesetz des Luftwiderstandes und die Lage des Druckmittelpunktes bekannt sei. Der Luftwiderstand sei gegeben durch $R = K\, S\, V^2 f(\alpha)$, wo S den Inhalt der Tragfläche, V die Geschwindigkeit und α den Winkel zwischen der Ebene der Tragfläche und der Bewegungsrichtung bedeuten. K ist eine Konstante, abhängig von dem physikalischen Zustande der Luft (Druck, Temperatur); ferner von der Flächenform und der Exposition der Fläche. Es stelle ferner $a \psi (a)$ die Distanz des Druckmittelpunktes vom Figurenzentrum dar, 2 a sei die Breite der Fläche. Die Funktionen $f(\alpha)$ und $\psi(\alpha)$ sind in erster Annäherung von der Translationsgeschwindigkeit der Platten unabhängig. Der Einfluß der Rotationsgeschwindigkeit $\dot\vartheta$ wurde bisher experimentell noch nicht untersucht. Wir müssen deshalb den Einfluß von $\dot\vartheta$ vernachlässigen. Da $\dot\vartheta$ bei stationärer Bewegung gleich Null ist und bloß kleine Oszillationen in Betracht kommen, sind die Einflüsse von $\dot\vartheta$ wahrscheinlich ohnehin klein.

Wenn das System aus einer Anzahl von Platten besteht, die fix miteinander verbunden sind, können wir die Komponenten der Kräfte und der Kräftepaare in der Form schreiben:

$$m \cdot X = \Sigma\, K \cdot S_1 \cdot V_1^2 \cdot f(\alpha_1 - \beta_1) \cos \beta_1$$
$$m \cdot Y = \Sigma\, K \cdot S_1 \cdot V_1^2 \cdot f(\alpha_1 - \beta_1) \sin \beta_1$$
$$m \cdot G = \Sigma\, K \cdot S_1 \cdot V_1^2 \cdot f(\alpha_1 - \beta_1)\, [p_1 + a_1 \psi (\alpha_1 - \beta_1)]$$

wo S_1 die Flächen bedeuten, $2\, a_1$ die Breite der Platten ist, V_1 die resultierende Geschwindigkeit ihres Zentrums, $\alpha_1 = \tan^{-1} u_1 | v_1$ der Winkel, welchen die Richtung der Bewegung mit der Achse von y bildet, β_1 der Winkel, welchen die Ebene der Platte mit der Achse von y_1 bildet, so daß $(\alpha_1 - \beta_1)$ der Winkel zwischen der Platte und der Bewegungsrichtung des Massenzentrums ist. Sind weiters ζ_1 und ε_1 die Koordinaten des Flächenzentrums, so haben wir auch $p_1 = \eta_1 . \cos \beta_1 + \zeta_1 \sin \beta_1$. Die Summation hat sich über alle Flächen des Systems zu erstrecken. Wenn jetzt u, v die Komponenten der Geschwindigkeit des Schwerpunktes sind, werden die Komponenten der Geschwindigkeit u_1, v_1 des Zentrums der Flächen gegeben durch $u_1 = u - \eta_1\, \dot\vartheta$, $v_1 = v + \zeta_1 . \dot\vartheta$ und für die stationäre Bewegung, wo $\dot\vartheta = 0$ ist, $u_1 = u$ und $v_1 = v$. Wir können deshalb die Gleichungen für die Kräfte, indem wir die Terme mit $\dot\vartheta^2$ vernachlässigen, in der Form schreiben:

Digitized by Google

$$m.X = \Sigma K S_1 (u^2_1 + v^2_1) f (\tan^{-1} u_1 \mid v_1 - \beta_1) \cos \beta_1$$
$$= \Sigma K S_1 (u^2 + v^2 - 2 u \eta_1 \dot\vartheta + 2 v \zeta_1 \dot\vartheta) f \left\{\tan^{-1}\left(\frac{u - \eta_1 \dot\vartheta}{v + \zeta_1 \dot\vartheta}\right) - \beta_1\right\} \cos \beta_1.$$

In derselben Weise

$$m Y = \Sigma K S_1 (u + v^2 - 2 u \eta_1 \dot\vartheta + 2 v \zeta_1 \dot\vartheta) f \left\{\tan^{-1}\left(\frac{u - \eta_1 \dot\vartheta}{v + \zeta \dot\vartheta}\right) - \beta_1\right\} \sin \beta_1$$
$$m.G = - \Sigma K S_1 (u + v_2 - 2 u \eta_1 \dot\vartheta + 2 u \xi_1 \dot\vartheta f \left\{\tan^{-1}\left(\frac{u - \eta_1 \dot\vartheta}{v + \zeta \dot\vartheta}\right) - \beta_1\right\} \times$$
$$\times \left\{p_1 + a \psi \left(\tan^{-1}\left(\frac{u - \eta_1 \dot\vartheta}{v + \zeta^1 \dot\vartheta}\right) - \beta_1\right)\right\}$$

Wir differenzieren diese Gleichungen nach u_1 v und $\dot\vartheta$ und erhalten:
$$m.X_u = \Sigma [K S_1 (2u - \eta_1 \vartheta) f (\alpha_1 - \beta_1) \cos \beta_1 + K S_1 v_1 f' (\alpha_1 - \beta_1) \cos \beta_1]$$
oder da $\dot\vartheta = 0$ ist bei stationärer Bewegung
$$m X_u = \Sigma [2 K S_1 u f (\alpha_1 - \beta_1) \cos \beta_1 + V_1 S_1 v f' (\alpha_1 - \beta_1) \cos \beta_1]$$
Ähnlich
$$m X_v = \Sigma [2 K S_1 v f (\alpha_1 - \beta_1) \cos \beta_1 - K S_1 u f' (\alpha_1 - \beta_1) \cos \beta_1]$$
$$m.Y_u = \Sigma [2 K S_1 u f (\alpha_1 - \beta_1) \sin \beta_1 + K S_1 v f' (\alpha_1 - \beta_1) \sin \beta_1]$$
$$m X_{\dot\vartheta} = \Sigma [2 K S_1 (- u \eta_1 + v \xi_1) f (\alpha_1 - \beta_1) \cos \beta_1 -$$
$$- K S_1 (v \eta_1 + u \zeta_1) f' (\alpha_1 - \beta_1) \cos \beta_1]$$
$$m Y_{\dot\vartheta} = \Sigma [2 K S_1 (- u \eta_1 + v \zeta_1) f (\alpha_1 - \beta_1) \sin \beta_1 -$$
$$- K S_1 (v \eta_1 + u \xi_1) f' (\alpha_1 - \beta_1) \sin \beta_1]$$
$$m.G_u = \Sigma [- 2 K S_1 (u - \eta_1 \vartheta) f (\alpha_1 - \beta_1) [p_1 + a \psi (\alpha_1 - \beta_1)] -$$
$$- K S_1 v_1 f' (\alpha_1 - \beta_1) [p_1 + a_1 \psi (\alpha_1 - \beta_1)] -$$
$$- K S v_1 f (\alpha_1 - \beta_1) a_1 \psi (\alpha_1 - \beta_1)].$$

Da bei stationärer Bewegung $G = 0$ ist, d. i.
$$2 (u^2 + v^2) \Sigma K S_1 f (\alpha_1 - \beta_1) [p_1 + a_1 \psi (\alpha_1 - \beta_1)] = 0$$
$$m G_u = v \Sigma [- K S_1 f' (\alpha_1 - \beta_1) [p_1 + a_1 \psi (\alpha_1 - \beta_1)] -$$
$$- K S_1 f (\alpha_1 - \beta_1) a_1 \psi' (\alpha_1 - \beta_1]$$
$$m G_v = u \Sigma [K S_1 f' (\alpha_1 - \beta_1) [p_1 + a_1 \psi (\alpha_1 - \beta_1)] + K S_1 f (\alpha_1 - \beta_1) a_1 \psi' (\alpha_1 - \beta_1)]$$
$$m G_{\dot\vartheta} = \Sigma [- K S_1 f' (\alpha_1 - \beta_1) (- v \eta_1 + u \zeta_1) [p + a \psi (\alpha_1 - \beta_1)] -$$
$$- K S_1 f (\alpha_1 - \beta_1) (- v \eta_1 + u \zeta_1) a \psi' (\alpha_1 - \beta_1)].$$

Anwendungen auf spezielle Fälle.

Wir wollen die allgemeinen Gleichungen auf spezielle Systeme anwenden und beginnen mit einer einzelnen Fläche. Da die Fläche stationär unter der Schwerewirkung fällt, muß ihre Ebene notwendig horizontal sein. Nehmen wir die y Achse parallel zu dieser Ebene, dann ist $\vartheta = 0$, $\beta = 0$ und deshalb $Y = 0$.

Im Gleichgewicht ist deshalb $\eta + a \psi (\alpha) = 0$. Die Koeffizienten werden dann
$$m X_u = 2 K S u f (\alpha) + K S v f' (\alpha)$$
$$m X_v = 2 K S v f (\alpha) - K S u f' (\alpha)$$
$$m X_{\dot\vartheta} = - 2 K S (u \eta - v \xi) f.(\alpha) + K S f' (\alpha) (v \eta + u \xi)$$
$$m G_u = - K S v f (\alpha) a \psi' (\alpha)$$
$$m G_v = K S u f (\alpha) a \varphi' (\alpha)$$
$$m G_{\dot\vartheta} = - K S a f (\alpha) (v \eta + u \xi) a \psi' (\alpha).$$

Digitized by Google

Einflächer.

Wir betrachten eine quadratische Platte, die so ausbalanciert sei, daß sie in einem Winkel von 10 Grad gleitet; der Schwerpunkt liege in der Plattenebene. Der Trägheitsradius sei gegeben durch $k^2 = {}^1/_2\, a^2$. Nach Langleys Versuchen mit einem großen Rundlaufapparat ist für diesen Winkel zu setzen $f(\alpha) = 0 \cdot 3$. Es ist dann $f'(\alpha) = 1 \cdot 6$. Nach Loessls Formel wird $\psi(\alpha) = 0 \cdot 49$ und $\psi'(\alpha) = -0 \cdot 59$ $\eta = 0 \cdot 49$ a. Deshalb $u = V \sin \alpha = 0 \cdot 17\, V$, $v = 0 \cdot 98\, V$. Setzen wir diese Werte in die Gleichungen für $X_u \ldots$ ein, so folgt

$$m X_u = 1 \cdot 66\ KSV \qquad m G_u = 0 \cdot 17\ KSVa$$
$$m X_v = 0 \cdot 32\ KSV \qquad m G_v = -0 \cdot 03\ KSVa$$
$$m X_\vartheta = 0 \cdot 73\ KSVa \qquad m G_\vartheta = 0 \cdot 09\ KSVa^2$$

Setzen wir diese Werte in die Gleichungen für A, B, C, D, E ein und beachten, daß bei stationärer Bewegung $m.g = K.S.V^2 f(\alpha)$, so erhalten wir $A = {}^1/_2\, a^2$, $B = 92 a^2 \,|\, V$, $C = 18 a - 1340\, a^2 \,|\, V^2$, $D = 295\, a \,|\, V$, $E = 36400\, a \,|\, V^2$ und deshalb

$$H = BCD - AD^2 - EB^2 = 4 \cdot 8 . 10^5 . \frac{a^4}{v^2} - 3 \cdot 6 . 10^7 . \frac{a^5}{v^4} -$$
$$- 4 \cdot 3 . 10^4 . \frac{a^4}{v^2} - 3 \cdot 08 . 10^8 . \frac{a^5}{v^4}$$

Der Wert für H wird positiv, wenn $V^2 > 774 a$; unter dieser Bedingung wird auch C positiv. Der Gleiter bewegt sich deshalb stabil, wenn seine Geschwindigkeit größer ist als $\sqrt{774 a}$. Den aus der Bedingungsgleichung für H folgenden Minimalwert der Geschwindigkeit, bei welcher die Bewegung noch stabil bleibt, wollen wir die kritische Geschwindigkeit nennen und mit V_k bezeichnen.

Es sei nun ein ebenes Rechteck gegeben. Nach Langleys Versuchen ist für ein schmales Rechteck von 46 Zentimeter Länge und 10 Zentimeter Breite, das mit der kurzen Seite in der Bewegungsrichtung liegt, $f(\alpha) = 0 \cdot 44$. Deshalb $f'(\alpha) = 1 \cdot 5$. Da für rechteckige Platten keine Bestimmungen über die Lage des Druckmittelpunktes vorliegen, wollen wir dieselben Werte wie für das Quadrat annehmen. Also $\psi(\alpha) = 0 \cdot 49$ und $\psi'(\alpha) = 0 \cdot 59$. Das Trägheitsmoment sei gegeben wie zuvor durch $k^2 = {}^1/_2 a^2$. Setzen wir diese Werte in die Gleichung der Koeffizienten ein, so ergibt sich, daß H positiv wird, wenn $V^2 > 470$ a. Dies ist also die Bedingung für die Stabilität.

Zweiflächer.

Wir betrachten nun einen Gleiter, bestehend aus zwei Flächen, die in derselben Ebene liegen. Die Flächen seien so schmal, daß die Verlagerung ihres Druckzentrums infolge von Änderungen des Einfallswinkels des Windes vernachlässigt werden kann.

Setzen wir $4 \psi(\alpha) = 0$, $\beta_1 = \beta_2 = 0$ in die Bewegungsgleichungen ein, so werden alle $\Gamma = 0$ und

$$m . X_u = K (S_1 + S_2) [2 u f(\alpha) + v f'(\alpha)]$$
$$m . X_v = K (S_1 + S_2) [2 v f(\alpha) + u f'(\alpha)]$$
$$m \ X_\vartheta = - K (S_1 \eta_1 + [S_2 \eta_2) 2 u f(\alpha) + v f'(\alpha)]$$
$$m \ G_u = - K v f'(\alpha) (S_1 \eta_1 + S_2 \eta_2)$$
$$m \ G_v = K u f'(\alpha) (S_1 \eta_1 + S_2 \eta_2)$$
$$m \ G_\vartheta = K v f'(\alpha) (S_1 \eta_1^2 + S_2 \eta_2^2).$$

Die Gleichgewichtsbedingung ist $S_1 \eta_1 + S_2 \eta_2 = 0$. In diesem Falle verschwinden $G_{\dot m}$, G_v und X_ϑ und deshalb sind, wie wir aus (9) sehen, die Koeffizienten C, D, E gleich Null und das Gleichgewicht ist labil oder indifferent.

Es seien zunächst zwei Platten von gleicher Größe gegeben. Die Neigungswinkel seien $\alpha_1 = 15$, $\alpha_2 = 5$. Dann haben wir nach den Versuchsergebnissen Langleys $f(\alpha') = 0{\cdot}56$, $f'(\alpha') = 1$; $f(\alpha'') = 0{\cdot}28$, $f'(\alpha'') = 2{\cdot}5$. Fürs Gleichgewicht muß sein $\alpha' f(\alpha'') = \eta_2 f(\eta_1)$. Setzen wir $\eta_1 = a$, so haben wir $\eta_2 = 2a$. Es sei $k^2 = 2\alpha^2$. Setzen wir diese Werte in die Bedingungsgleichungen ein, so erhalten wir als Bedingung für die stationäre Bewegung $V^2 > 590$ a.

Zwei quadratische Platten von gleicher Größe seien unter einem kleinen Winkel gegeneinander geneigt. Es sei $\alpha = 10$ Grad, $\beta_1 = - 5$ Grad, $\beta_2 = 5$ Grad und 2 a die Breite jeder Platte. Für diese Winkel haben wir $f(\alpha_1 - \beta_1) = 0{\cdot}44$, $f'(\alpha_1 - \beta_1) = 1{\cdot}7$; $f(\alpha_2 - \beta_2) = 0{\cdot}15$, $f'(\alpha_2 - \beta_2) = 1{\cdot}8$; $\varphi(\alpha_1 - \beta_1) = 0{\cdot}45$, $\varphi'(\alpha_1 - \beta_1) = 0{\cdot}6$; $\varphi(\alpha_2 - \beta_2) = 0{\cdot}55$, $\varphi'(\alpha_1 - \beta_1) = 0{\cdot}58$.

Im Gleichgewichtsfalle muß sein

$$f(\alpha_1 - \beta_1) [\eta_1 + a \psi (\alpha_1 - \beta_1)] = f(\alpha_2 - \beta_2) [\eta_2 + a \psi (\alpha_2 - \beta_2)].$$

Setzen wir $\eta^2 = - 4$ a, so folgt $\eta_1 = 1{\cdot}4$ a. Nehmen wir $k^2 = 4 a^2$, so folgt aus den Bedingungsgleichungen für die Stabilität der Bewegung $V^2 > 2000$ a.

η_1 η_2

Es seien nun zwei ungleiche quadratische Platten gegeben unter einem Winkel geneigt und die kleinere Fläche sei an der Stirnseite. S und S' seien die Größen der Flächen und wir setzen $S = 10 S'$. Ferner sei 2 a die Breite der großen Platte und 2 a | 3·1 jene der kleineren. Die Distanz der Mittelpunkte sei 3 a und $k^2 = a^2$. Der Winkel α zwischen der großen Platte und der Richtung der Bewegung sei 10°, der Winkel zwischen den beiden Flächen sei gleichfalls 10°, so daß die kleine Fläche unter einem Winkel von 20° zur Richtung der Bewegung geneigt ist. Wir haben dann $f(\alpha) = 0{\cdot}3$, $f'(\alpha) = 1{\cdot}6$; $\psi(\alpha) = 0{\cdot}49$, $\psi'(\alpha) = 0{\cdot}59$; $f(\alpha + \beta) = 0{\cdot}5$, $f'(\alpha + \beta) = 1{\cdot}57$; $\psi(\alpha + \beta) = 0{\cdot}4$, $\psi'(\alpha + \beta) = 0{\cdot}56$.

Im Gleichgewichtsfalle haben wir

$$S f(\alpha) [\eta - a \psi(\alpha)] = S' f(\alpha + \beta) [b + a' \psi(\alpha + \beta) - \eta]$$

Deshalb $\eta = 0{\cdot}94$ a, so daß $\eta_1 = b - \eta = 2{\cdot}06$ a. Setzen wir diese Werte in die Bedingungsgleichungen ein, so folgt $V^2 > 1040$ a als Stabilitätsbedingung.

Die kleinere Fläche sei hinter die größere gestellt in einem Winkel von 5°. Die Richtung der Bewegung schließe wieder einen

Digitized by Google

Winkel von 10^0 mit der größeren Fläche ein und es sei $k^2 = a^2$. Wir haben $f(\alpha) = 0 \cdot 3$, $f'(\alpha) = 1 \cdot 6$; $\psi(\alpha) = 0 \cdot 49$, $\psi'(\alpha) = 0 \cdot 59$; $f(\alpha') = 0 \cdot 17$, $f'(\alpha') = 1 \cdot 8$, $\psi(\alpha') = 0 \cdot 55$, $\psi'(\alpha') = 0 \cdot 6$. Wenn die Distanz zwischen den Zentren der Platten 3 a ist, geben die Gleichgewichtsbedingungen $N = -0 \cdot 35\, a$, $\eta_1 = -2 \cdot 65\, a$. Diese Werte in die Bedingungsgleichungen eingesetzt, erhalten wir die kritische Geschwindigkeit aus $V^2 > 250\, a$.

Einfluß des Trägheitsmomentes auf die Stabilität.

Wir ersehen aus Gleichung (9), daß der Trägheitsradius k^2 bloß in den Gleichungen für A und B der ersten zwei Koeffizienten der Determinantengleichung vorkommt. Wir haben

$$A = k^2 \quad B = h^2 (X_u + Y_v) + G_\vartheta$$

In allen behandelten Beispielen sind $X_u + Y_v$ und G_ϑ positiv und deshalb sind diese zwei Koeffizienten positiv für alle Werte von k^2. Die wesentlichste Bedingungsgleichung für die Stabilität $H = BCD - AD^2 - EB^2$ können wir nun schreiben:

$$CDG_\vartheta - EG^2 + k^2 \{(X_u + Y_v)\, CD - D^2 - 2 (X_u + Y_v)\, G_\vartheta\, E\} - - k^4 (X_u + Y_v)^2 \,.\, E$$

H wächst deshalb mit wachsendem k^2, wenn

$$(X_u + Y_v)\,(CD - 2 G_\vartheta\, E) - D^2 - 2 k^2 (X_u + Y_v)\, E > 0$$

Bei der kritischen Geschwindigkeit, wenn $H = 0$ erhalten wir dafür

$$C \,.\, D \,.\, G_\vartheta + (X_u + Y_v)^2 \,.\, E \,.\, k^4 < E \,.\, G_\vartheta{}^2$$

Charakter der Schwingungen um die stationäre Bewegung.

Der Charakter der Schwingungen um die stationäre Bewegung hängt von der Natur der Wurzeln der Biquadratischen Gleichung (8) ab. Die Gleichungen (7) für die Verschiebungen δu, δv und $\delta \vartheta$ sind ersichtlich von den folgenden Formen:

Alle Wurzeln reell $C_1 C^{\lambda_1 t} + C_2 C^{\lambda_2 t} + C_3 C^{\lambda_3 t} + C_4 C^{\lambda_4 t}$

Zwei reell, zwei imaginäre $C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + \gamma e^{\alpha t} \cos (\beta t - \varepsilon)$

Zwei Paare von imaginären Wurzeln

$$\gamma_1 e^{\alpha_1 t} \,.\, \cos (\beta_1 t - \varepsilon_1) + \gamma_2 e^{\alpha_2 t} \cos (\beta_2 t - \varepsilon_2).$$

Die letzte Form zeigt zwei verschiedene Reihen von Schwingungen von verschiedener Länge an. Eine weitere wichtige Folge ist, daß der Gleiter Schwingungen von abnehmender Amplitude ausführen kann, entsprechend einem Paar von komplexen Wurzeln mit negativen reellen Teilen, aber die Bewegung kann dennoch unstabil werden, dadurch, daß die reellen Teile der anderen Wurzeln positiv sind oder eine oder beide von ihnen reell und positiv sind. Die Stabilität wird gestört, wenn eine reelle Wurzel der Gleichung ihr Zeichen vom negativen zum positiven ändert oder wenn der reelle Teil von einem Paar von imaginären Wurzeln vom negativen zum positiven übergeht.

Wenn die Stabilität gestört wird, durch eine Verminderung der Geschwindigkeit, sind die einzigen Größen, die verschwinden können, H und C, davon kann H schwieriger positiv gemacht werden als C.

Digitized by Google

Daraus scheint hervorzugehen, daß die gewöhnlichste Art, wie ein Gleiter kippt, darin besteht, daß er mit einer Serie von Oszillationen von wachsender Amplitude beginnt.

Ergebnisse.

Für einen beliebigen Flugkörper, der sich in einer lotrechten Ebene durch die Luft bewegt, sind die kleinen Schwingungen um den Zustand der gleichförmigen geradlinigen Bewegung bestimmt durch eine Gleichung vierten Grades. Die longitudinale Stabilisierung von Flugkörpern kann damit der mathematischen Analyse unterworfen werden. Die praktische Auswertung der Bedingungsgleichungen wurde an einfachen Beispielen gezeigt.

Die Bedingung, daß irgendeine stationäre lineare Bewegung stabil sei, das Kriterium der Stabilität, nimmt in allen betrachteten Fällen die Form an: $V^2 > ka$, wo a eine Konstante darstellt, abhängig von den linearen Dimensionen des Flugkörpers, und k eine Konstante bezeichnet, abhängig von der Gestalt, dem Gleitwinkel (allgemeiner dem Luftstoßwinkel) und dem Gesetz des Luftwiderstandes.

Für jeden Flugkörper von gegebener Konfiguration gibt es einen gewissen Minimalwert der Geschwindigkeit, unter den diese nicht sinken darf, wenn die Bewegung stabil sein soll; diesen Wert bezeichnen wir als die kritische Geschwindigkeit.

Ein paar quadratische Platten, bei denen die Verschiebungen in der Lage des Druckmittelpunktes mit der Änderung des Luftstoßwinkels nicht vernachlässigt werden können, ist weniger stabil als eine einfache Platte von der gleichen Breite wie eines der Quadrate. Neigt man die Flächen in einem kleinen Winkel zueinander, so wird die Stabilität stark vergrößert. Zwei quadratische Platten von gleicher Größe hintereinander plaziert unter einem kleinen Winkel, sind in den betrachteten Beispielen weniger stabil, als ein Quadrat gleich einem der beiden aber mehr stabil als ein einzelnes Quadrat mit einer Seite gleich der totalen Länge des Gleiters mit den zwei Quadratflächen.

Ein Gleiter ist mit Stirnsteuer weniger stabil als mit Schwanzsteuer, wenn er aus zwei quadratischen Flächen besteht und die kleinere das Steuer bildet.

Im allgemeinen wächst die Stabilität, wenn man das Trägheitsmoment so klein als möglich macht.

Das Problem der longitudinalen Stabilität haben am eingehendsten behandelt Bryan und Williams in den Proceedings of the Royal Society of London, 1904. Vorstehende Darstellung ist eine gekürzte Bearbeitung nach der wertvollen Arbeit der genannten englischen Autoren.

Zur Statik und Dynamik des Ballons.

Praller Ballon.

(Normalhöhe.) Der pralle Ballon steigt mit konstantem Volumen, aber veränderlichem Gewicht, weil, entsprechend der Druckabnahme mit der Höhe, Gas durch den offenen Füllansatz entweicht. Bezeichnen

Digitized by Google

wir mit ρ das Gewicht (der Volumseinheit) Luft beim Druck p und der Temperatur t und mit ρ' die gleiche Größe für das verwendete Füllgas, so ist der Auftrieb der Volumseinheit des Ballons

$$a = \rho - \rho' \ (kg / m^3) \tag{1}$$

Wir setzen $T = 273 + t$, sowie $R = p_0 / \rho_0 \times 273$. Dann haben wir zufolge der Zustandsgleichung der Gase (Boyle-Charlessches Gesetz) für Luft und Füllgas

$$\text{(Luft)} \quad \frac{p}{\rho} = R\,T \ (2); \qquad \text{(Gas)} \quad \frac{p'}{\rho'} = R'\,T' \ (3)$$

Steigt der Ballon mit offenem Füllansatze, so wird $p = p'$ und deshalb, da für $p = p'$ und $T = T'$ aus den Zustandsgleichungen folgt

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{R}{R'} = s \tag{3'}$$

$$a = \frac{p}{R\,T} - \frac{p'}{R'\,T'} = \frac{p}{R\,T}\left(1 - \frac{R}{R'} \cdot \frac{T}{T'}\right) = \rho\left(1 - s\,\frac{T}{T'}\right) \tag{4}$$

Für den Druck $p = 760$ Millimeter Quecksilber, $T = T' = 273$, d. i. $t = 0$, ist deshalb

$$a_0^{760} = \frac{760}{R\,.\,273}(1 - s) \tag{5}$$

und beim Druck p

$$a_0^{p} = \frac{p}{R\,.\,273}(1 - s) \tag{6}$$

Aus (5) und (6) folgt

$$a_0^{p} = a_0^{760} \cdot \frac{p}{760} \tag{7}$$

Der Auftrieb pro Volumseinheit nimmt also bei konstanter Luft- und Gastemperatur proportional dem Luftdrucke ab.

Ist V das Ballonvolumen, G das Gesamtgewicht samt Belastung, so lautet die Schwebebedingung allgemein

$$G = a_0^{p} \,.\, V \tag{8}$$

Kleiner als a_0^p darf der Auftrieb pro Volumseinheit nicht werden, wenn das Gewicht G noch in Schwebe gehalten werden soll. Setzen wir $a_0^p = G/V$ aus (8) in (7) ein, so erhalten wir

$$a_0^{p} = \frac{G}{V} = a_0^{760} \cdot \frac{p}{760} \tag{9}$$

Daraus folgt also der Luftdruck in der maximalen Schwebehöhe H, der Schwebedruck p, zu

$$p = 760 \cdot \frac{G}{a_0^{760} \,.\, V} \tag{10}$$

Das Produkt $a_0^{760} . V = A$ stellt den Auftrieb beim Aufstieg dar, wir nennen ihn den Grundauftrieb und schreiben

$$p = 760 \cdot \frac{G}{A} \tag{11}$$

Die zum Luftdruck p gehörige Höhe H finden wir aus einer barometrischen Höhentafel oder wir können sie uns auch direkt aus der barometrischen Höhenformel, welche die Beziehung zwischen Druck-

Digitized by Google

änderung und Höhe ausdrückt, berechnen. Wir können darnach mit hier vorerst hinreichender Genauigkeit setzen

$$H = 18400 \log \frac{p}{760} \tag{11'}$$

und zufolge (11)

$$H = 18400 \log \left(\frac{G}{A}\right) \tag{12}$$

Die so berechnete Höhe gilt aber nur unter der Annahme, daß Luft und Gas stets die Temperatur Null besitzen. Wir bezeichnen die für diesen Fall erzielbare Maximalhöhe als die Normalhöhe.

Wir werden nun zunächst das allgemeine Gesetz der Ballastwirkung aufstellen und dann den Einfluß der Temperaturänderungen von Luft und Füllgas auf die Normalhöhe untersuchen, sowie die Bedeutung der lotrechten Temperaturverteilung in der Atmosphäre für die Gleichgewichts- und Bewegungsverhältnisse eines steigenden und sinkenden Ballons in Betracht ziehen.

Gesetz der Ballastwirkung. Die Normalhöhe eines Ballons ist durch den Druck p_n zufolge (11) bestimmt, aus

$$p_n = 760 \cdot \frac{G}{A} \tag{12'}$$

Wenn $A = G$ ist, wird $p_n = 760$. Dem Druck von 760 Millimeter entspricht zufolge der Höhenformel die Höhe 0. Solange also $G \geq A$ bleibt, kann der Ballon sich überhaupt nicht vom Boden abheben. Geben wir g Kilogramm Ballast aus, so sinkt das Ballongewicht auf $G - g$. Der Ballon erhebt sich und steigt, bis der Luftdruck den Wert p'_n erreicht hat, entsprechend

$$p'_n = 760 \cdot \frac{G - g}{A} \tag{13}$$

Aus (12') und (13) folgt

$$\frac{p'_n}{p_n} = \frac{G - g}{G} = 1 - \frac{g}{G}$$

Die dem Druckunterschied $(p_n - p'_n)$ entsprechende Höhendifferenz $H_1 - H_2$ ist $H_1 - H_2 = 18400 \log \left(\frac{p'_n}{p_n}\right) = 18400 \log \left(1 - \frac{g}{G}\right)$

$$= 8000 \log \text{nat} \left(1 - \frac{g}{G}\right)$$

Wir entwickeln log nat in eine Reihe

$$\log \text{nat} \left(1 - \frac{g}{G}\right) = - \frac{g}{G} - \frac{1}{2}\left(\frac{g}{G}\right)^2 \; \ldots .$$

Ist g nicht größer als etwa zehn Prozente von G, so können wir die Reihe mit dem ersten Gliede abbrechen. Es wird dann

$$H_1 - H_2 = - 8000 \cdot \frac{g}{G}$$

und

$$\Delta H = H_2 - H_1 = 8000 \cdot \frac{g}{G} \tag{13'}$$

Digitized by Google

Setzen wir $g = \frac{1}{100} . G$, so folgt $\Delta H = 80\ m$. Jeder Ballon steigt also in jeder Höhe um 80 Meter, wenn sein augenblickliches Gewicht um ein Prozent vermindert wird.

Einfluß der Temperatur der Luft und des Füllgases auf die Normalhöhe. Die Temperatur der Luft und des Gases sei zunächst als beliebig, aber gleich angenommen. Der Auftrieb von ein Kubikmeter bei der Temperatur $T = 273 + t$ ist zufolge (6)

$$a^p_T = \frac{p}{R\,T} (1 - s) = \frac{p}{R\,T_0} (1 - s) \frac{T_0}{T} = a^p_0 \frac{T_0}{T} \qquad (14)$$

Der zur Normalhöhe gehörige Druck p_n ist bestimmt durch

$$p_n = 760 . \frac{G}{a_0^{760} . V} \qquad (15)$$

Der Druck p'_n, entsprechend der Höhe H_t, und der Temperatur t^0

$$p'_n = 760 . \frac{G}{a^{760}_T . V} \qquad (16)$$

Aus (15) und (16) wird zufolge (14)

$$\frac{p'_n}{p_n} = \frac{a^{760}_T}{a_0^{760}} = \frac{T_0}{T}$$

und

$$p'_n = p_n . \frac{T^0}{T}$$

Die zu diesem Druck gehörende Höhe folgt aus

$$H_t = 18400 \log \left(\frac{p_n . \frac{T_0}{T}}{760}\right) = 18400 \log \left(\frac{p_n}{760}\right) + 18400 \log \left(\frac{T_0}{T}\right) \qquad (17)$$

Das erste Glied stellt die Normalhöhe dar. Entwickeln wir den Ausdruck T_0/T in eine Reihe, so wird

$$\frac{T_0}{T} = \frac{273}{273 + t} = \frac{1}{1 + \alpha t} = 1 - \alpha t \ldots$$

und wir erhalten, wenn wir log nat in eine Reihe entwickeln und beim ersten Gliede stehen bleiben, das zweite Glied von (17) in der Form $- 8000 . \alpha t$ und somit

$$H_t = H_0 - 8000 . \alpha . t; \ \Delta H_t = H_t - H_0 = - 8000 . \alpha t \qquad (17')$$

Die Größe α, der Ausdehnungskoeffizient der Gase, ist gleich 0·003665. Das Produkt $8000 . \alpha$ wird deshalb 29·4 m oder auf Meter abgerundet gleich 30 m. Also

$$H_t = H_0 - 30 . t$$

Die Steighöhe jedes Ballons vermindert sich demnach um 30 Meter, wenn die Lufttemperatur um ein Grad zunimmt.

Nun erteilen wir dem Füllgas den Temperaturüberschuß $\Delta t = t' - t$ über die Außenluft; dadurch wird das Gleichgewicht gestört. Wir erhalten den Auftrieb des Füllgases $a^p_{T\,T'}$, aus (14)

Digitized by Google

$$a^{p}_{TT'} = \frac{p}{RT}\left(1 - s\frac{T}{T'}\right); \quad a^{p}_{T} = \frac{p}{RT}(1 - s)$$

also

$$\frac{a^{p}_{TT'}}{a^{p}_{T}} = \frac{1 - s\frac{T}{T'}}{1 - s} = \frac{(1 - s) + s - s\frac{T}{T'}}{1 - s} = \frac{(1 - s) + s\left(1 - \frac{T}{T'}\right)}{1 - s} =$$

$$= 1 + \frac{s}{1 - s}\left(1 - \frac{T}{T'}\right)$$

$$\frac{a^{p}_{TT'}}{a^{p}_{T}} = 1 + \frac{s}{1 - s} \cdot \frac{\Delta t}{T'} \qquad (18)$$

Füllen wir denselben Ballon einmal mit Gas vom Auftrieb $a^{p}_{TT'}$, dann mit Gas vom Auftrieb a^{p}_{T}, so sind nach (10) die zugehörenden Schwebedrucke

$$p_s = 760 \cdot \frac{G}{a^{p}_{TT'} \cdot V} \text{ und } p'_s = 760 \frac{G}{a^{p}_{T} \cdot V}$$

deshalb

$$\frac{p_s}{p'_s} = \frac{a^{p}_{T}}{a^{p}_{TT'}} \qquad (19)$$

Die der Druckdifferenz $p_s - p'_s$ entsprechende Höhenänderung ist zufolge (11′) und (19)

$$\Delta H = 18400 \log\left(\frac{p_s}{p'_s}\right) = 18400 \log\left(\frac{a^{p}_{TT'}}{a^{p}_{T}}\right) = 8000 \log \text{nat}\left(\frac{a^{p}_{TT'}}{a^{p}_{T}}\right)$$

Dies ist also die Höhenänderung, welche die Erwärmung des Füllgases von T auf T′ zur Folge hat. Wir setzen für $a^{p}_{T} / a^{p}_{TT'}$ den Wert aus (18) ein und entwickeln den log in eine Reihe, die wir beim ersten Glied abbrechen, also

$$\log \text{nat} \frac{a^{p}_{TT'}}{a^{p}_{T}} = \log \text{nat}\left(1 + \frac{s}{1 - s} \cdot \frac{\Delta t}{T'}\right) = \frac{s}{1 - s} \cdot \frac{\Delta T}{T'}$$

damit wird

$$\Delta H = 8000 \cdot \frac{s}{1 - s} \cdot \frac{\Delta T}{T'} = 8000 \frac{s}{1 - s} \cdot \frac{t' - t}{273 + t'}.$$

Außer der Temperaturdifferenz zwischen Füllgas und Luft ist die Höhenänderung ersichtlich noch wesentlich eine Funktion von s / 1—s. Dieser Quotient wird für Leuchtgas (s = 0·43) gleich 0·77 für unreinen

Digitized by Google

Wasserstoff ($s = 0 \cdot 12$) $0 \cdot 136$ und für reinen Wasserstoff ($s = 0 \cdot 07$) $0 \cdot 075$. Nehmen wir für $T' = 273 + t'$ einen mittleren Wert von 300^0, entsprechend $t = 27^0$, so erhalten wir

$\Delta H = 20 \cdot 5\ (t' - t)$ für Leuchtgasfüllung,
$= 3 \cdot 3\ (t' - t)$ für unreinen Wasserstoff,
$= 2\ (t' - t)$ für reinen Wasserstoff.

Die Steighöhe jedes prallen Ballons ändert sich also in jeder Höhe bei Leuchtgasfüllung um rund 20 Meter, bei Wasserstoffüllung nur um 2 bis 3 Meter pro ein Grad Temperaturdifferenz zwischen Luft und Füllgas.

Mittels des Gesetzes der Ballastwirkung können wir auch den Einfluß der Temperaturänderungen von Luft und Füllgas auf die Tragfähigkeit bestimmen. Nach Gl (13') hat eine Ballastausgabe eine Höhenzunahme $\Delta H = 8000\ g \,|\, G$ zur Folge. Dieselbe Höhenänderung kann durch entsprechende Abkühlung der Luft erzielt werden, wenn zufolge Gl (17') ist

$$\Delta H = 8000 \,.\, \frac{g}{G} = 8000 \,.\, \alpha \,.\, t. \qquad (20)$$

Daraus folgt

$$g = \alpha \,.\, t \,.\, G$$

Es ist $\alpha = 1 \,|\, 273 = 0 \cdot 004$. Für $t = 1^0$ wird also $g = 0 \cdot 004 \,.\, G$. Eine Abnahme der Lufttemperatur um ein Grad bedingt demnach eine Zunahme der augenblicklich vorhandenen Tragfähigkeit jedes prallen Ballons um $0 \cdot 4$ Prozent.

In gleicher Weise können wir die Änderung der Tragfähigkeit infolge von Temperaturänderungen des Füllgases berechnen. Wir haben jetzt zufolge (17') u. (20)

$$\Delta H = 8000 \,.\, \frac{g}{G} = 8000 \,.\, \frac{s}{1 - s} \,.\, \frac{t' - t}{273 + t'}$$

und deshalb

$$g = \frac{s}{1 - s} \,.\, \frac{(t' - t)}{273 + t'} \,.\, G. \qquad (21)$$

Die Änderung der Tragfähigkeit ist also nach (21) für gleiche Temperaturänderungen bei Leuchtgasfüllung etwa 10 mal größer als bei Wasserstoffüllung. Setzen wir für t' wieder rund 300 Grad, entsprechend $t' = 27$, so folgt

$g = 0 \cdot 0025\ (t' - t) \,.\, G$ für Leuchtgasfüllung
$= 0 \cdot 0004\ (t' - t) \,.\, G$ für unreinen Wasserstoff
$= 0 \cdot 00025\ (t' - t) \,.\, G$ für reinen Wasserstoff.

Die Zunahme der Temperatur des Füllgases vermehrt demnach die Tragfähigkeit bei Leuchtgasfüllung um $^1/_4$ Prozent, bei Wasserstofffüllung aber nur um $^1/_4$ Promille. Jeder Ballon mit Wasserstoffüllung ist also, unabhängig von der Größe, gegen Wärmestrahlung zehnmal weniger empfindlich als bei Leuchtgasfüllung.

Schlaffer Ballon.

Ein schlaffer Ballon ist nur zum Teil mit Gas gefüllt. Der äußere Luftdruck preßt die Hülle so weit zusammen, bis der Gegendruck des

Digitized by Google

Gases gleich wird dem Luftdruck. Da kein Gas durch den Füllansatz entweicht, steigt der schlaffe Ballon mit konstantem Gewicht. Das Füllgas dehnt sich entsprechend der Abnahme des Luftdruckes aus, bis es in der Prallhöhe das Ballonvolumen ganz ausfüllt. Der Schlaffballon wird zum Prallballon. Da der Schlaffballon während des Auf- und Abstieges nicht denselben Gesetzen gehorcht wie der Prallballon, muß er selbständig behandelt werden.

Ein Kubikmeter des Füllgases wiege beim Druck p und der Temperatur t Grad ρ' Kilogramm. Fasse ich ein Volum von $1 \mid \rho'$ Kubikmeter heraus, so wiegt dieses $\frac{1}{\rho'} \cdot \rho' = 1$ Kilogramm. Also nimmt ein Gasquantum von 1 Kilogramm den Raum von $1 \mid \rho'$ Kubikmeter ein. Der Auftrieb in Luft ist immer gleich der Gewichtsdifferenz gleicher Volumina. Als Volumseinheit nehmen wir hier nicht wie früher 1 Kubikmeter, sondern $1 \mid \rho'$ Kubikmeter, das ist das der Gewichtseinheit Füllgas entsprechende Volumen. Das gleiche Volumen Luft wiegt, wenn ρ das Gewicht der Volumseinheit Luft ist, $\rho . 1 \mid \rho'$. Von diesem Luftgewichte das Gewicht des gleichen Volumens Gas, das ist 1 Kilogramm abgezogen, folgt der Auftrieb der Gewichtseinheit Füllgas a,

$$a_s = \frac{\rho}{\rho'} - 1 = \frac{1}{s} - 1 = \frac{1-s}{s}. \qquad (21')$$

Da zufolge (3') für ein gegebenes Gas s eine Konstante ist, also unabhängig von Druck und Temperatur, gilt dies auch von a_s. Enthält der Ballon Q Kilogramm Gas, so wird der Grundauftrieb A_s

$$A_s = Q . \frac{1-s}{s}. \qquad (22)$$

Da Q beim Schlaffballon konstant bleibt und ebenso s, ist auch A_s unveränderlich, wenn wir zunächst von Temperaturänderungen absehen. Der Schlaffballon steigt also mit konstantem Auftrieb bis zur Prallhöhe, wo er zum Prallballon wird. Von der Prallhöhe an ändert sich der Auftrieb nach den früher aufgestellten Gesetzen.

In (22) können wir auch schreiben

$$A_s = \frac{Q}{s} - Q. \qquad (23)$$

Da der Auftrieb immer gleich ist dem Gewichte der Luft, vermindert um das Gewicht des Füllgases, so stellt in (23) $Q \mid s$ das Gewicht der verdrängten Luft dar.

Jeder sinkende Ballon wird infolge der Kompression des Füllgases durch den zunehmenden Luftdruck zu einem Schlaffballon. Der fallende Ballon sinkt deshalb mit konstantem Abtrieb bis zur Erdoberfläche, wenn die Fallbewegung durch Ballastausgabe nicht gebremst wird.

Wir wollen nun den Einfluß von Temperaturänderungen auf den Auftrieb eines Schlaffballons kennen lernen.

Der Auftrieb von 1 Kilogramm Füllgas ist nach (21')

$$a_s = \frac{\rho}{\rho'} - 1 = \frac{p}{RT} \cdot \frac{R'T'}{p} - 1 = \frac{1}{s} \cdot \frac{T'}{T} - 1.$$

Digitized by Google

Für T'/T setzen wir

$$\frac{T'}{T} = \frac{273 + t'}{273 + t} = \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t}.$$

Führen wir die Division aus und bleiben beim zweiten Gliede stehen, so wird

$$T'/T = 1 + \alpha (t' - t) = 1 + \alpha . \Delta t$$

also

$$a_s = \frac{1}{s}(1 + \alpha . \Delta t) - 1 = \frac{1}{s} + \frac{\alpha . \Delta t}{s} - 1$$

$$= \frac{1 - s}{s} + \frac{1}{s} . \alpha \Delta t. \qquad (24)$$

Das erste Glied gibt nach (21′) den Auftrieb bei gleicher Temperatur, das zweite Glied die Auftriebsvermehrung infolge der Erhöhung der Temperatur des Füllgases um Δt.

Enthält der Ballon Q Kilogramm Gas, so wird der gesamte Auftrieb

$$A_s = Q\left(\frac{1 - s}{s} + \frac{1}{s}\alpha \Delta t\right) = \frac{Q}{s}(1 - s) + \alpha \frac{Q}{s} \Delta t.$$

Wenn Δt sich nicht ändert, bleibt also A_s konstant bis zur Prallhöhe. Der Auftrieb eines Schlaffballons ändert sich darnach um 0·4 Prozent des Gewichtes der verdrängten Luft, für je 1 Grad Temperaturdifferenz zwischen Füllgas und Luft.

Das Füllgas eines aufsteigenden Schlaffballons dehnt sich entsprechend dem abnehmenden Luftdrucke aus. Es überwindet dabei den äußeren Luftdruck und leistet Arbeit auf Kosten seiner Wärmeenergie. Wenn wir von dem Wärmeaustausch durch die Hülle zunächst absehen, muß sich das Füllgas beim Aufstieg abkühlen. Wir wollen das Maß der Abkühlung kennen lernen.

Wenn auf eine Gasmenge eine gewisse Wärmemenge übertragen wird, so hat diese zwei Wirkungen zur Folge: Die Temperatur des Gasquantums steigt, zugleich aber tritt eine entsprechende Volumszunahme ein. Da dabei der Luftdruck überwunden werden muß, ist auch eine gewisse Arbeitsleistung nötig, welche auf Kosten der Wärmeenergie geleistet wird. Wir können uns diese beiden Vorgänge als unabhängig voneinander vorsichgehend denken und deshalb die Gleichung aufstellen:

$$dQ = c_v . dt + A . p dv$$

dabei bezeichnet dQ die kleine dem Gas zugeführte Wärmemenge, dt die Temperaturerhöhung, dv die Volumszunahme, ferner c_v die spezifische Wärme bei konstantem Volumen, A das Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit $A = 1/427 = 0{\cdot}00234$ Grad.

Da $\rho = 1/v$ ist, kann die Zustandsgleichung (3) der Gase auch geschrieben werden

$$p . v = RT$$

es ist also

$$p . dv = R\,dt - v\,dp$$

und weiter

$$dQ = c_v . dt + A . R\,dt - A\,v\,dp$$

$$= (c_v + AR)\,dt - A\,v\,dp. \qquad (24')$$

Digitized by Google

Bezeichnet c_p die spezifische Wärme bei konstantem Druck, so ist

$$c_v + AR = c_p$$

also zufolge (24)

$$dQ = c_p \,.\, dt - ART \frac{dp}{p}.$$

Nehmen wir an, daß die Hülle des Ballons wärmeundurchlässig sei, so folgt $dQ = 0$ und somit

$$0 = c_p\, dt - ART \frac{dp}{p} \tag{25}$$

und weiter

$$\frac{dt}{T} = \frac{AR}{c_p} \,.\, \frac{dp}{p}.$$

Statt der Druckänderung dp führen wir jetzt die zugehörige Höhenänderung dh ein. Erheben wir uns in der Atmosphäre um die kleine Höhendifferenz dh, so nimmt der Druck um das Gewicht dieser Schichte ab, also um $\rho \,.\, dh$; da $\rho = 1 / v$ und $v = RT / p$, so haben wir

$$-dp = \rho\, dh = \frac{p}{RT} \,.\, dh$$

daraus

$$\frac{dp}{p} = -\frac{dh}{RT}$$

und eingesetzt in (25) wird

$$0 = c_p\, dt + ART \,.\, \frac{dh}{RT}$$

weiters

$$0 = c_p\, dt + A\, dh$$

und daraus

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{c_p}{A}.$$

Das Maß der Abkühlung ist demnach konstant und von der absoluten Höhe unabhängig. Die spezifische Wärme c_p bei gleichem Drucke von 1 Kubikmeter hat für atmosphärische Luft, Wasserstoff, Leuchtgas und Gase von ähnlichem physikalischen Verhalten nahezu den gleichen Wert. Setzen wir für Luft $c_p = 0{\cdot}238$, so wird, da $A = 0{\cdot}00234$ ist, $dh \,|\, dt = 101{\cdot}6$ Meter. Alle diese Gase kühlen sich also bei einer Erhebung um 101·6 oder rund 100 Meter um 1 Grad ab und erwärmen sich beim Niedersinken um 100 Meter um 1 Grad.

Ist der Gradient in der Atmosphäre, d. i. Temperaturabnahme pro 100 Meter Erhebung kleiner als. 1 Grad, so kann ein praller Ballon, der vor Wärmeaustausch geschützt ist, in ihr nicht sinken. Das Füllgas würde sich nämlich beim Sinken um 100 Meter um 1 Grad erwärmen. Da die Lufttemperatur nach der Voraussetzung pro 100 Meter um weniger als 1 Grad nach unten zunimmt, wird das Füllgas wärmer als die umgebende Luft. Es resultiert daraus eine Zu-

Digitized by Google

nahme des Auftriebs, der den Ballon wieder nach oben treibt. Das Gleichgewicht ist deshalb stabil.

Die Temperatur des Füllgases ist erfahrungsgemäß in erster Linie abhängig von dem Einflusse der Strahlung. Bei Sonnenschein überwiegt der Einfluß der Bestrahlung gegenüber der Abkühlung infolge der Expansion des Füllgases. Beim Abstieg kommt die Kompressionswärme des Gases nicht voll zur Geltung wegen der Abkühlung der unteren Halbkugel des Ballons durch den Luftstrom der Sinkbewegung. Alle diese Einflüsse lassen sich derzeit quantitativ noch nicht genauer verfolgen.

Sinkbewegung des Ballons. Die Gewichtsverminderung, welche notwendig ist, den Abtrieb aufzuheben, nennen wir den Bremsballast. Wegen des großen Luftwiderstandes, den der Ballon erfährt, wird die Bewegung nach dem Verschwinden des Abtriebes sehr rasch gebremst.

Ein praller Ballon vom Gesamtgewichte G sei im höchsten Punkte seiner Bahn angelangt. Die Temperaturdifferenz zwischen Gas und Luft sei Δt_0. Dann lautet die Schwebebedingung zufolge

$$G = \frac{Q}{s}(1-s) + \alpha . \frac{Q}{s} \Delta t_0 \qquad (26)$$

Schließt sich beim Abstieg der Füllansatz, so kann man Q und s zunächst als konstant annehmen. Unten am Boden sei die Temperaturdifferenz zwischen Gas und Luft Δt_u geworden. Wenn der Ballon unten auch im Gleichgewicht sein soll, muß er um den Betrag b, den Bremsballast, entlastet werden; wir erhalten somit die Schwebebedingung

$$G - b = \frac{Q}{s}(1-s) + \alpha \cdot \frac{Q}{s} \Delta t_u \qquad (27)$$

Aus (22) und (23) folgt

$$b = \alpha . \frac{Q}{s}(\Delta t_0 - \Delta t_u) = \alpha \frac{Q}{s}[(t'_0 - t_0) - (t'_u - t_u)] \quad (27^1)$$

$$= \alpha \frac{Q}{s} . [(t'_0 - t'_u) - (t_0 - t_u)]$$

Die Größe Q|s stellt das Gewicht der vom Ballon im höchsten Punkte seiner Bahn verdrängten Luft dar; sie wird also um so kleiner, je größer die Maximalhöhe des Ballons war. Der Bremsballast wird also unter sonst gleichen Umständen um so kleiner, je größer die Maximalhöhe des Ballons war; von der Art des Füllgases ist der Bremsballast unabhängig.

Befolgt die Temperaturveränderung der Atmosphäre dasselbe Gesetz wie die des sinkenden Ballons, so ist überall $\Delta t_0 = \Delta t_u$; der Ballon ist dann in jeder Höhe im Gleichgewicht, der Bremsballast wird nach (23) gleich Null. Erzeugt man durch Gasauslaß mittels des Ventils den Abtrieb u Kilogramm, so kann dieser in jeder Höhe durch einen Ballastwurf gleich u Kilogramm aufgehoben werden.

Nimmt die Lufttemperatur rascher zu als die Gastemperatur, so wird $\Delta t_0 > \Delta t_u$. Der Bremsballast wird um so größer, je weiter unten gestoppt werden soll.

Digitized by Google

Erfolgt die Temperaturzunahme der Luft langsamer als jene des Gases, so ist $\Delta t_0 < \Delta t_u$ und b wird negativ. Der Ballon kann in diesem Falle, der bei unbedecktem Himmel und ohne Temperaturumkehr eintritt, nur durch wiederholtes Ventilziehen ganz heruntergebracht werden. Er befindet sich im stabilen Gleichgewicht. Die Zunahme der Lufttemperatur erfolgt im Sommer in der Regel rascher als im Winter. Sommerfahrten brauchen deshalb meistens mehr Ballast zur Landung als Winterfahrten.

Die Temperaturabnahme mit der Höhe erfolgt nicht gleichförmig, sondern das Gefälle ändert sich; die Luftsäule zerfällt in Schichten mit veränderlichem Gefälle. In den bodennahen Schichten treten in der kälteren Jahreszeit sehr häufig Temperaturinversionen auf, die Temperatur nimmt dann mit der Höhe nicht ab, sondern zu. Durch solche Temperaturinversionen, die auch in größeren Höhen nicht selten beobachtet werden, kann nach (23) infolge der Zunahme von $(t_u - t_0)$ der Bremsballast b einen negativen Wert erhalten und der Ballon dadurch gestoppt werden. Eine kalte Bodenschichte kann deshalb bei der Landung statt einer Ballastausgabe Ventilziehen nötig machen. Umgekehrt können heiße lokale Bodenschichten unverhältnismäßig große Ballastopfer erfordern.

Kühlt sich bei einem im Gleichgewicht schwebenden Prallballon infolge verminderter Bestrahlung das Füllgas ab, so verrückt sich der Auftrieb und der volle Ballon wird durch den beginnenden Fall schlaff. Eine sehr rasche Temperaturverminderung des Füllgases um Δt^0 erfordert zur Kompensation an Ort und Stelle nach (23) eine Ballastausgabe von

$$b = \alpha \frac{Q}{s} . \Delta t \text{ Kilogramm.}$$

Daraus folgt, daß pro 1 Grad Temperaturerniedrigung des Füllgases der Auftrieb sich unabhängig von der Art der Füllung um 0·4 Prozent des Gewichtes der verdrängten Luft vermindert. Gleiche Temperaturerniedrigung wirkt also um so weniger, in je größerer Höhe sie eintritt.

Strahlungsvermehrung und Strahlungsverminderung führen zu gänzlich verschiedenen Problemen. Temperaturerhöhung und Temperaturerniedrigung des Füllgases gehen nicht mit entgegengesetzten Vorzeichen in die Gleichungen ein, sondern haben gänzlich verschiedene Konsequenzen. Die Temperaturerhöhung des prallen Ballons kommt in GI zum Ausdruck. Der Leuchtgasballon ist gegen Strahlung zehnmal empfindlicher als der Wasserstoffballon. Jede Temperaturerniedrigung verwandelt den Prallballon sofort in einen Schlaffballon, welcher der GI gehorcht. In dieser kommt ein Unterschied der Gasarten nicht zur Geltung.

Es sollen nun noch einige spezielle Probleme betrachtet werden. Wir wollen die Last G berechnen, welche ein Ballon vom Inhalt V auf eine gegebene Normalhöhe H zu tragen vermag, ferner die Größe eines unbelasteten Ballons V, der eine bestimmte Normalhöhe H erreichen soll. Die Normalhöhe ist durch den Schwebedruck p_n charakterisiert.

Digitized by Google

Zufolge Gleichung 10 ergibt sich die maximale Last G, welche ein Ballon auf die Normalhöhe H heben kann, aus

$$G = a_0^{760} . V . \frac{p_n}{760}$$

Wiegt die Hülle m Kilogramm pro Quadratmeter und nehmen wir zunächst an, daß der Ballon bloß aus der Hülle allein bestehe, so folgt

$$G = 4\, R^2 \pi . m = \frac{4}{3} R^3\, \pi . a_0^{760} . \left(\frac{p_n}{760}\right)$$

Daraus folgt der Radius R des Ballons

$$R = \frac{3\,m}{a_0^{760}} . \left(\frac{760}{p_n}\right)$$

und das Volumen

$$V = \frac{36\,\pi\, m^3}{(a_0^{760})^3} . \left(\frac{760}{p_n}\right)$$

Wird derselbe Ballon mit verschiedenen Gasen gefüllt, so ändert sich die Normalhöhe. Diese wird durch die Schwebedrucke p_n und p'_n charakterisiert. Wir haben nach Gl 10

$$p_n = 760 . \frac{G}{\alpha_0^{760} . V} \text{ und } p'_n = 760 \frac{G'}{\alpha_0^{760} . V'}$$

also, wenn $G' = G$ und $V' = V$

$$\frac{p_n}{p_n'} = \frac{a_0^{760}}{\alpha_0^{760}} \tag{28}$$

Der dem Druckunterschied $p_n - p'_n$ entsprechende Höhenunterschied ΔH ist zufolge (12) und (28)

$$\Delta H = 18400 \log \left(\frac{p_n}{p'_n}\right) = 18400 \log \left(\frac{a_0^{760}}{a_0^{760}}\right)$$

Füllen wir denselben Ballon einmal mit Wasserstoff ($a_0^{760} = 1 \cdot 1\ kg$), dann mit Leuchtgas ($a_0^{760} = 0 \cdot 7\ kg$), so folgt $\Delta H = 3563$ m. Ein Ballon mit Wasserstoffüllung steht also stets um rund 3600 Meter höher als bei gleicher Belastung mit Leuchtgasfüllung, wenn wir von Temperatureinflüssen absehen.

Wir haben im vorausgehenden bloß Leuchtgas und Wasserstoff als Füllgas ins Auge gefaßt. Vom rein theoretischen Standpunkte aus kämen noch als Gase leichter als die Luft in Betracht: Erhitzte Luft, Wasserdampf, Ammoniakgas, Kohlenoxydgas und Wassergas. Ammoniakgas und Kohlenoxydgas sind praktisch nicht verwendbar; das erste greift die Ballonstoffe an, das zweite ist giftig. Erhitzte Luft kam bei den Montgolfieren in Anwendung. Die Theorie der Montgolfieren schließt sich jener der Leuchtgasballons an, sie bietet keine neuen Gesichtspunkte. Da Heißluftballons gegenwärtig ganz außer Gebrauch gekommen sind, soll auf die Theorie der Montgolfiere deshalb nicht näher eingegangen werden. Es sei auf die Arbeit von Josef Popper „Über die Quelle und den Betrag der von Luftballons geleisteten Arbeit verwiesen. (Sitzgber. d. Wiener Akademie 1872.)

Digitized by Google

Die Theorie der Vertikalbewegung des Freiballons wurde hauptsächlich von Renard, Rosenberger, Voyer, Barthés, Hergesell und Emden entwickelt. Am übersichtlichsten und eingehendsten dargestellt ist die Statik des Ballons von Emden in der Arbeit „Theoretische Grundlagen der Ballonführung“ (III. Aeronautische Mitteilungen, 1901), welche auch der vorausgehenden Darstellung als Grundlage diente.

Zur Theorie des Lenkballons.

Prallerhaltung der Form.

Das Ballonet soll so groß sein, daß der Gasbehälter nach Erreichung der Maximalhöhe beim Landen noch prall bleibt. Es sei p mm der atmosphärische Luftdruck in der Maximalhöhe H Meter. Das Ballonet sei völlig luftleer. Das Füllgas nimmt den ganzen Balloninhalt V Kubikmeter ein. Beim Abstieg steigt der Luftdruck. Ist dieser gleich n p geworden, so wird das Füllgas auf das Volumen V | n komprimiert. Wenn der Ballon nicht schlaff werden soll, muß das Füllgasvolumen noch immer größer bleiben als (V—v), wenn v das Ballonetvolumen bezeichnet. Also

$$\frac{V}{n} > V - v \tag{1}$$

oder

$$\frac{1}{n} > 1 - \frac{v}{V} \tag{2}$$

Den Maximalwert von n bezeichnen wir mit N. Es wird zufolge Gl 2)

$$\frac{1}{N} = 1 - \frac{v}{V} \tag{3}$$

Dem Maximalwerte N_{Np} entspreche an der Erdoberfläche der Druck P = V.

Daraus folgt N = P | p. Für N diesen Wert in Gl 3 eingesetzt, erhalten wir also

$$\frac{p}{P} = 1 - \frac{v}{V}$$

und

$$p = \left(1 - \frac{v}{V}\right) P \tag{4}$$

Diese Gleichung gibt den Luftdruck p, welchen der Ballon nicht überschreiten darf, wenn der Gasverlust durch das Ballonet kompensiert werden soll. Aus dem Luftdrucke folgt dann mittels der barometrischen Höhenformel die Maximalhöhe H für die gegebene Kapazität des Ballonets v | V.

Form des Tragkörpers.

Infolge der großen Oberfläche der aerostatischen Tragkörper setzt sich der Translationswiderstand aus zwei (bzw. drei) Summanden dar: dem Luftwiderstande gegen den Bugteil (Stirnwiderstand) W_e,

Digitized by Google

dem Saugungswiderstande gegen das Heck W_h und dem Reibungswiderstande W_r an der Seitenoberfläche. Der gesamte Translationswiderstand W_τ ist also gegeben durch

$$W_\tau = W_b + W_h + W_r.$$

Die beiden ersten Summanden können erfahrungsgemäß in erster Annäherung in der Form dargestellt werden:

$$W_b = \varkappa \,.\, \frac{\gamma}{g} \,.\, \odot \,.\, V^2 \,.\, f\,(L, \frac{L}{\odot}, \odot)$$

und

$$W_b = \lambda \,.\, \frac{\gamma}{g} \,.\, \odot \,.\, V^2 \,.\, \varphi\,(L, \frac{L}{\odot}, \ldots)$$

wo $\odot$ den größten Querschnitt senkrecht zur Flugrichtung und V die Translationsgeschwindigkeit bedeutet; $\varkappa$ und λ sind Konstante, die Luftwiderstandskoeffizienten; f und φ Funktionen, welche von der Länge L des Tragkörpers der Streckung $L/\odot$ der Querschnittsfläche $\odot$ und vielleicht noch von anderen Einflüssen abhängen, derzeit aber vernachlässigt werden müssen. Wir vereinigen W_b und W_h und schreiben in erster Annäherung

$$W_b + W_h = \nu \,.\, \frac{\gamma}{g} \,.\, \odot \,.\, V^2.$$

Den Reibungswiderstand können wir nach den Versuchen von Frank in der Form schreiben:

$$W_r = \omega \,.\, \frac{\gamma}{g} \,.\, \Omega \,.\, V^2,$$

wo Ω die gesamte Seitenoberfläche und ω den Reibungswiderstandskoeffizienten bedeuten.

Wir erhalten also

$$W_\tau = \nu \,.\, \frac{\gamma}{g} \,.\, \odot \,.\, V^2 + \omega \,.\, \frac{\gamma}{g} \,.\, \Omega \,.\, V^2$$
$$= \frac{\gamma}{g}(\nu \,.\, \odot + \omega\, \Omega) \,.\, V^2.$$

Die dauernde Überwindung des Translationswiderstandes W_τ erfordert die Arbeit $A_\omega = W_\tau \,.\, V$. Ist η der Wirkungsgrad des Propellers und ϑ der Wirkungsgrad der Krafttransmission, so ist die erforderliche effektive Motorarbeit

$$Am = \vartheta \,.\, \eta \,.\, W_\tau \,.\, V = \vartheta \,.\, \eta \,.\, \frac{\gamma}{g} \,.\, (\nu \,.\, \odot + \omega \,.\, \Omega)\, V^3.$$

Diese Gleichung zeigt, daß es für jedes gegebene Ballonvolumen ein maximales Streckungsverhältnis gibt, bei welchem die effektive Motorarbeit ein Minimum wird. Dieses ist dann erreicht, wenn der Reibungswiderstand gleich der Summe aus dem Stirnwiderstand und dem Saugungswiderstand ist.

Für jede Geschwindigkeit besteht ein Verhältnis von Bug- und Achterteil und der gesamten Ballonlänge zum größten Querschnitt, welche das mögliche Arbeitsminimum gibt in bezug auf den durchlaufenen Weg.

Für jede Körperform gibt es eine Relativgeschwindigkeit, bei welcher er in bezug auf den durchlaufenen Weg die kleinst mögliche Arbeit erfordert.

Digitized by Google

Nach Versuchen von Renard-Krebs mit Körpern aus Ebonit, die man in Wasser fallen ließ, geben fischförmige Körper den kleinsten Widerstand mit größtem Querschnitt in $\frac{1}{4}$ der Länge von der Spitze gerechnet.

Der Zweck des Buges ist: Die Teilung der Luftfäden an der Stirnseite ohne Brüsquerie; Vermeidung von stehenden Flüssigkeitspartien, welche Wirbel erzeugen. Soll der Bug konvex oder konkav sein? Die konkave Form scheint günstiger zu sein. Sie erscheint bisher bloß bei dem Lenkballon von Hänlein angewandt.

Der Zweck des Achterteiles ist in erster Linie die Vermeidung der Aspiration und die Rückgewinnung eines Teiles der am Bug aufgewandten Kraft durch die Reaktion der abfließenden Flüssigkeitsmassen. Nach Versuchen von Erminger ist die Aspiration am Achterteile größer als der Druck am Bug bei Geschwindigkeiten, welche in der Luftschiffahrt noch in Betracht kommen können. Dupré sucht auf theoretischem Wege den Stirnwiderstand von der Aspiration zu trennen, indem er von der Navierschen Formel ausgeht.

Stabilisierung.

Ist F der Vortrieb des Propellers, d die Distanz des Angriffspunktes von F vom Auftriebszentrum als F . d das Drehmoment des Propellers; bezeichnet ferner P das Gesamtgewicht des schwebenden Systems, p die Distanz des Schwerpunktes vom Auftriebszentrum, i der Winkel zwischen der Längsachse des Tragkörpers und der Horizontalen, also P . p . sin i das Drehmoment des Schwerpunktes, so lautet die Bedingungsgleichung für das Gleichgewicht der Drehmomente

$$F \cdot d = P \cdot p \cdot \sin i$$

Ist s das Streckungsverhältnis (Verhältnis der Länge zum größten Durchmesser), W der Stirnwiderstand bei horizontaler Längsachse und W_i der Stirnwiderstand bei der Neigung i, so kann man nach Soreau setzen:

$$\frac{R_i}{R} = 1 + 1^2 \sin^2 \frac{i}{2}$$

Für einen Tragkörper mit der Streckung 5 wird der Stirnwiderstand doppelt so groß, wenn $i = 2^0\,20'$ wird; der Widerstand steigt auf den dreifachen Wert, wenn $i = 14^0$ wird. Das Drehmoment der Last soll einen gewissen Maximalwert nicht überschreiten. Es muß also p so klein kalkuliert werden, daß i nicht größer wird als i_{max}.

Zu den Ursachen, welche Schwankungen der Längsachse erzeugen können, gehören die Störungen der vertikalen Stabilität und die Entfernung d der Propellerwelle vom Druckmittelpunkte. Für eine Geschwindigkeit von 6 Meter per Sekunde genügt schon eine Steig- oder Sinkgeschwindigkeit von $6 \times \text{tang}\, 3^0 = 0{\cdot}3$ Meter, um ein Stampfen von 3^0 zu erzeugen.

Die Amplitude der Oszillationen ist proportional der Eigengeschwindigkeit. Eine Störung der vertikalen Stabilität spielt also bei größeren Translationsgeschwindigkeiten (10 Meter und darüber) nur eine geringe Rolle. Die Distanz d Entfernung des Propulsionspunktes vom Druckmittelpunkte soll so klein als möglich genommen werden.

Digitized by Google

Wenn die Propeller in Gang gesetzt werden, neigt sich das System unter seinem Zug um den Winkel i_0, denn es ist

$$F \cdot d = P \cdot p \cdot \sin i_0$$

Daraus

$$\sin i_0 = \frac{F}{P} = \frac{d}{p}$$

Wenn F sich ändert, bewirkt die Änderung des Winkels i das Stampfen; dieses ist um so größer, je größer der Winkel i_0 wird. Dupuy fand, daß bei seinem Lenkballon i_0 den Wert von $^1/_2$ Grad nicht erreichte. Der Winkel i_0 wird größer, wenn das Gewicht pro Pferdekraft sich vermindert. Wenn i_0 einen gegebenen Wert nicht übersteigen soll, muß das Verhältnis d | p vermindert werden. Ein gewisses Drehmoment soll aber bestehen bleiben, um die zufälligen Störungen, welche durch die Einwirkung äußerer Kräfte (Windwellen), deren Richtung nicht horizontal ist, zu kompensieren. Um das Drehmoment der Propeller beim Anlauf und Stoppen gegen den Tragballon aufzuheben, hat Parseval die Gondel in der Weise suspendiert, daß eine geringe horizontale Verschiebung erfolgen kann.

Infolge der Rotation des Propellers und der Einwirkung von Windwellen treten Schwingungen senkrecht zur Bewegungsrichtung auf, das Rollen. Das Drehmoment dämpft sich selbst. Nach Soreau ist es zweckmäßig, einen breiten Bug und einen zugespitzten Achterteil zu nehmen, also einen unsymmetrischen Tragkörper.

Propulsion.

Die Propulsion erfolgt bei allen modernen Lenkballontypen durch Luftschrauben.

Ist s die Ganghöhe (Steigung) der Schraube in Metern, V die Translationsgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde, n die Tourenzahl pro Sekunde, so ist erfahrungsgemäß stets

$$s \cdot n < V.$$

Die Differenz $(V - s \cdot n)$ heißt der Rücklauf (Slip) der Schraube. Die Versuche, den Rücklauf, bzw. den Wirkungsgrad der Propulsionsschrauben auf theoretischem Wege aus den „Stützflächen" zu bestimmen, entbehren derzeit der zureichenden experimentellen Grundlage. Das gleiche gilt von den Theorien von Soreau, Renard und Deprez, welche die Wirkung der Schrauben nach Art der Ventilatoren behandeln, indem sie von dem Satze der Erhaltung der Bewegungsgröße ausgehen.

Im stationären Zustande ist nach Deprez die Widerstandsarbeit gleich der Gesamtarbeit des Propellers, unabhängig von der Form des Propellers, den Dimensionen, dem Prinzip, auf dem er basiert, die Geschwindigkeit mag konstant sein oder sich periodisch ändern. Es sei V die Geschwindigkeit, welche der Luft im Sinne der Schraubenachse erteilt wird, F der Propellervortrieb, M die bewegte Luftmasse pro Sekunde, T die mechanische Arbeit, welche pro Zeiteinheit dem Propeller zugeführt werden muß. Dann können wir setzen

$$F = M V \tag{1}$$

und wenn η der Nutzeffekt des Propellers ist

$$T = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{M V^2}{2} \quad (2)$$

Aus Gl 1 und 2 folgt

$$\frac{T}{F} = \frac{1}{2\eta} \cdot V \quad (3)$$

Aus Gl 1 bis 3 erhalten wir weiters

$$M = 2\eta \cdot \frac{T}{F} \quad (4)$$

und

$$V = \frac{F^2}{2\eta T} \quad (5)$$

Das Verhältnis T / F, Antriebsarbeit pro 1 Kilogramm Vortrieb (spezifischer Schub), wächst zufolge Gl 3 proportional mit der Geschwindigkeit. Will man mit einem Motor von gegebener Leistung den größtmöglichen Effekt erzielen, so muß man der Luft die kleinstmögliche Geschwindigkeit erteilen.

Ist μ die Masse von 1 Kubikmeter Luft, so können wir setzen $M = \mu \cdot S \cdot V$, wenn S den Querschnitt des ausgeworfenen Luftstromes bezeichnet. Wir erhalten also zufolge Gl 4, 5

$$S = \frac{M}{\mu \cdot V} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{F^3}{4\eta^2 T^2} \quad (6)$$

Zur Erzielung eines möglichst großen Effektes mit kleinster Motorarbeit muß demnach der Querschnitt der Ausströmung möglichst groß genommen werden, es sind also große Schrauben mit kleiner Tourenzahl zu nehmen.

Prinzipiell ist gegen diese Ableitung anscheinend eigentlich nichts einzuwenden, sie basiert ja auf einwandfreien physikalischen Sätzen. Die Zulässigkeit der Anwendung auf die Propulsionsschraube erscheint aber doch zweifelhaft, wenn man auf das Phänomen des schiefen Luftstoßes Rücksicht nimmt. Es gelten wohl für den Reaktionsdruck F beim senkrechten und beim schiefen Luftstoß die beiden mechanischen Grundgleichungen

$$F = M \cdot V$$

und

$$L = \frac{1}{\eta} \cdot M \cdot V^2$$

wenn η eine Erfahrungszahl, M die Masse und V die Geschwindigkeit der Luft bedeutet. Die Werte für η und M sind aber für den senkrechten und schiefen Luftstoß erfahrungsgemäß nicht gleich. Eine günstig geformte kleine, rasch laufende Schraube kann deshalb unter sonst gleichen Umständen einen besseren Effekt ergeben als eine schlechter gebaute große, langsam laufende, unbeschadet der Gültigkeit der aufgestellten Grundgleichungen.

Soreau und Renard ersetzen die Schraube durch ebene, orthogonal zu ihrer Ebene bewegte, kreisförmige Flächen. Ist S die Fläche und V die Translationgeschwindigkeit der Scheibe, $\varkappa$ eine Erfahrungszahl, so ist der Luftwiderstand P gegen sie gegeben durch

$$P = \varkappa \cdot S \cdot V^2 \quad (7)$$

Digitized by Google

und die zur Bewegung pro Sekunde erforderliche Arbeit

$$L = P \cdot V = \varkappa \cdot S \cdot V^3 \tag{8}$$

Es ist zufolge Gl 7 und 8

$$\frac{P^3}{L^2} = \varkappa\ S$$

Der Quotient $P^3 \mid L^2$ ist ersichtlich von V unabhängig. Man kann eine Fläche S und eine Geschwindigkeit V bestimmen derart, daß für eine gegebene Arbeit L derselbe Schub P erzeugt wird, welchen die Schraube gibt. Wenn wir $P^3 \mid L^2 = A$ setzen, so erhalten wir aus Gl 8 und 9: $S = A \mid \varkappa$ und $V^2 = P \mid A$. Die Fläche S, welche die Wirkung der Schraube ersetzt, nennt Soreau die figurative Fläche. Sind die Werte von $P^3 \mid L^2$ für verschiedene Schraubentypen gegeben, so bilden die berechneten figurativen Flächen ein Maß für die Güte der Schrauben. Renard hat diese formalen Untersuchungen fortgesetzt und eine Reihe von Sätzen aufgestellt, die aber das Problem, ich möchte sagen, bloß verschleiern, ohne uns der Lösung einen Schritt näher zu bringen. Auch Renard ist nicht darauf aufmerksam geworden, daß auch für die Propulsionsschrauben die Sätze über den schiefen Luftstoß gelten.

Hastings setzt die Schraube äquivalent einer Serie von ebenen geneigten Flächen, auf welche er die Duchemin'sche Luftwiderstandsformel anwendet.

Ist W die Mittelkraft des Luftwiderstandes, P der Schraubenschub, R der Widerstand gegen die Rotation, A die Antriebsarbeit, α der Neigungswinkel der Blätter und V die Rotationsgeschwindigkeit im Druckmittelpunkte, so können wir setzen $P = W \cos \alpha$,

$$P = W \sin \alpha \text{ und } A = R \cdot V$$

Setzen wir $P \mid A = P_s =$ spezifischer Schub, so wird

$$P_s = \frac{P}{A} = \frac{P}{R\ v} = \frac{\cot \alpha}{v}$$

und für kleine Winkel

$$P_s = \frac{1}{\alpha\ v}$$

Da P bei kleinen Winkeln in erster Annäherung gesetzt werden kann: $P = S \cdot \alpha \cdot v^2$, wird, wenn wir die Stoßfläche $S = 1$ und ebenso den Schub $P = 1$ setzen $1 = \alpha \cdot v^2$. Damit erhalten wir $P_s = 1 \mid v\ \alpha$ und $P_s = v$.

Um also einen gegebenen Schub zu erhalten, kann man kleine Geschwindigkeiten und einen großen Inklinationswinkel nehmen oder große Geschwindigkeiten und kleine Winkel.

Mit einer gegebenen Fläche und einem gegebenen Zug erhält man einen um so größeren Effekt, je größer die Rotationsgeschwindigkeit und je kleiner der Inklinationswinkel ist.

Hastings Theorie paßt sich schon weit mehr der praktischen Anwendungsfähigkeit an als jene von Soreau und Renard. Sie leidet aber noch an dem Mangel, daß sie die Notwendigkeit einer Integration nach der Fläche ergibt. Es wurde schon im Kapitel über den Luftwiderstand darauf hingewiesen, daß alle derlei Integrationen derzeit keine praktisch verwendbaren Resultate ergeben.

Digitized by Google

Eine zureichende Theorie der Luftschrauben ist gegenwärtig überhaupt nicht möglich, weil wir nicht imstande sind, allgemeine Formeln für die Berechnung des Luftwiderstandes aufzustellen. Es entspricht deshalb dem Geiste der Wissenschaft viel mehr, wenn wir uns mit dem Wenigen, aber Sicheren begnügen, statt Pseudotheorien aufzustellen, welche auf hypothetischer Basis fundiert sind. Die bisherigen Erfahrungen reichen zwar nicht hin, um das Schraubenproblem exakt quantitativ zu lösen, sie genügen aber schon, um die maßgebenden Umstände zu überschauen und deren qualitativen Einfluß abzuschätzen. Prinzipiell zu verwerfen ist, worauf nochmals hingewiesen sei, die bisher meist übliche Behandlung der Luftschrauben als Luftförderungsmaschinen (Ventilatoren). Die Wirkung der Propulsionsschraube basiert auf den Gesetzen des schiefen Luftstoßes und jede Theorie muß deshalb davon ausgehen.

Es seien nun noch die wesentlichsten Publikationen über Versuche mit Luftschrauben angefügt.

Ch. Renard: La machine à essayer les hélices. Revue de l'Aérc nautique 1889, p. 93—103; F. v. Loessl: Z. für Luftsch. 1893, p. 151; G. Wellner: Über Luftsch. Z. d. öst. Ing. u. Arch. Ver. 1894, V. 33, 34, 47; G. Wellner: Versuche mit größeren Luftschrauben, Z. d. öst. Ing. u. Arch. Ver. 1896, Nr. 35, 36; Hiram S. Maxim: Natural and artificial flight. The Aëronautical Annual 1896, p. 26—55; Patrick Y. Alexander: Experiments on the Trust or lifting power of Aër propellers (Experimental works. Bath 1901); Otto Kübler: Das Zeppelinsche Luftfahrzeug, Ill. aeron. Mitt. 1902, Heft 1, p. 11—15.

Digitized by Google

IV. Teil.

Anhang.

Leitfaden zur Einführung in die aeronautische und flugtechnische Literatur.

Für diejenigen, welche tiefer in die Theorie und Praxis der Aeronautik und Flugtechnik eindringen wollen, seien im Folgenden aus der neueren Literatur einige Publikationen zusammengestellt. Um dem Anfänger einen Leitstein in die Hand zu geben für die Stellung, welche er den verschiedenen Arbeiten gegenüber einnehmen soll, schien es wünschenswert, in kurzen Referaten die Bedeutung der einzelnen Schriften zu charakterisieren. Es ist selbstverständlich, daß diese Kritiken lediglich als der Ausdruck der persönlichen Meinung des Verfassers anzusehen sind, es sind dies aber Ansichten, die er sich durch langjährige, theoretische Studien und praktische Betätigung auf dem Gebiete der Aeronautik und Flugtechnik erworben hat. Aus derartigen, zunächst persönlichen Ansichten bauen sich aber schließlich alle Wissenschaften auf. Wie in jeder Wissenschaft, ist auch in der Aeronautik und Flugtechnik der Autoritätsglaube einerseits die Bedingung des Fortschrittes, er kann aber, zu weit getrieben, andererseits auch wieder ein Hemmschuh der Entwicklung werden. Beim Anfänger ist freilich ein gewisser Autoritätsglauben schon aus ökonomischen Gründen wünschenswert, weil er sonst Gefahr läuft, seine Kräfte nutzlos zu vergeuden an Probleme, die von anderen längst gelöst sind. Das „perant qui ante nos nostra dixerunt“ wird wohl von keinem anderen Techniker so oft zitiert, als von den Flugtechnikern. Mögen die nachfolgenden Ausführungen dazu beitragen, diesem nutzlosen Energieverbrauch endlich Einhalt zu tun.

Populäre Schriften allgemeinen Inhaltes.

(Aeronautik, Flugtechnik und Hilfswissenschaften, Ballonsport.)

J. Lecornu: La navigation aérienne Paris. Vortreffliche populäre Geschichte der Luftschiffahrt mit Einschluß der Flugtechnik. Interessant geschrieben. Reich illustriert.

Digitized by Google

H. W. L. Moedebeck: Die Luftschiffahrt, ihre Vergangenheit und Zukunft, insbesondere das Luftschiff im Verkehr und Kriege. Straßburg, 1906. Eine kleine, anregend und frisch geschriebene Schrift. Ein Drittel des Umfanges ist der Zukunft der Luftschiffahrt und deren militärischen Verwendung gewidmet. Der Flugtechnik sind leider bloß zwölf Seiten reserviert, davon entfällt aber noch die Hälfte auf Abbildungen.

A. Hildebrandt: Die Luftschiffahrt nach ihrer geschichtlichen und gegenwärtigen Entwicklung. München 1907. Behandelt hauptsächlich die sportliche, militärische und wissenschaftliche Luftschiffahrt, sowie die Ballonphotographie. Ein aeronautisches Lese- und Bilderbuch. Von 426 Seiten des Buches sind bloß 28 Seiten der aerodynamischen Luftschiffahrt vorbehalten. Es finden sich in diesem auch vielfache Übersehen und Unrichtigkeiten. So wird u. a. der Schraubenflieger von Léger Dufaux zugeschrieben, es wird übersehen, daß das Projekt des Hensonschen Drachenfliegers vom Jahre 1841 im großen nie ausgeführt wurde. Die grundlegenden experimentellen Forschungen über die Mechanik des Vogelfluges von Marey werden nur mit ein paar Zeilen erwähnt, die Arbeiten eines Lilienthal, Ahlborn u. a. sind ganz übergangen, dagegen sind den in Fachkreisen gar nie ernst genommenen Faseleien eines deutschen Bergsekretärs über den Vogelflug nahezu eine halbe Seite Text gewidmet. Der Hauptwert des Buches scheint in den Kapiteln über Ballonphotographie und Brieftaubensport zu liegen, die eigentliche Aeronautik ist aber nur stiefmütterlich behandelt.

H. Groß: Die Luftschiffahrt. Berlin 1904. Zur Einführung für Anfänger sehr empfehlenswert. 106 Seiten Kleinoktav, mit 46 Bildern.

Johannes Poeschel: Luftreisen. Leipzig 1908. In anziehender Form schildert der Autor seine Erlebnisse und Eindrücke auf fünfzehn Ballonfahrten, bei denen er gegen viereinhalbtausend Kilometer in der Luftlinie zurücklegte. Wem es aus irgend einem Grunde für immer versagt sein muß, die Welt je aus der Luftschifferperspektive zu sehen, der kann sich wenigstens an den reizenden Schilderungen Poeschels und den netten Bildern, die dem Buche beigegeben sind, erfreuen. In einem einleitenden Kapitel sind alle Vorurteile gegen das Ballonfahren zusammengestellt und in einer Weise widerlegt, die auch den größten Hasenfuß beruhigen mag.

Major Groß: Die Entwicklung der Motorluftschiffahrt im 20. Jahrhundert. Eine kurze aber sehr instruktive Broschüre zur Übersicht. Nach einem im Berliner Verein für Luftschiffahrt gehaltenen Vortrag.

O. Chanute: Progress in flying machines. New York 1894. Auch heute noch die ausführlichste und beste Geschichte der Flugtechnik in kritischer Darstellung. Von dem Buche ist seinerzeit leider keine deutsche Ausgabe erschienen. Was den rein geschichtlichen Teil anbelangt, auch heute noch bestens zur Einführung in die Entwicklung der Flugtechnik zu empfehlen.

O. Lilienthal: Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. Ein Beitrag zur Systematik der Flugtechnik. Berlin 1889. Sehr an-

Digitized by Google

regend geschriebene Darstellung der Flugtechnik vom Standpunkte des persönlichen Kunstfluges. Ausführlicher Bericht über die Luftwiderstandsmessungen des Autors mit Rundlaufapparaten und im Winde. Entspricht heute nicht mehr dem Stande der flugtechnischen Wissenschaft, kann aber für Anfänger noch immer empfohlen werden. Bezüglich der Messungsergebnisse Lilienthals mit gewölbten Flächen wären die Arbeiten von Hofrat Professor Wellner und General v. Obermayer zu beachten.

A. v. Obermeyer: Über die Wirkung des Windes auf schwach gewölbte Flächen. Anzeiger der Wiener Akademie der Wissenschaften. 1898. Der Autor legt in überzeugender Weise einen Mangel der Experimentiermethode Lilienthals dar.

P. Pacher: Die Flüssigkeitsschraube. Wien 1900. Eine recht schätzenswerte Schrift, aus der Fachmann und Laie manche Anregung empfangen können. Populär geschrieben.

F. Ferber: Les progrès de l'aviation depuis 1891 par le vol plané, Paris 1905 und „Pas à pas, saut à saut, vol à vol", Paris 1906. Beide Schriftchen sind unter Beachtung der im vorausgehenden gemachten Bemerkungen zur Übersicht empfehlenswert. Es sei dabei aber auf ein störendes Versehen aufmerksam gemacht. Im erstgenannten Büchlein steht p. 9 „loi d'Avogadro" statt „loi d'Avanzini". Die rückhaltlose Anerkennung, welche der Autor den Leistungen des Deutschen Otto Lilienthals zollt, wirkt sehr erfreulich, doppelt erfreulich, weil sie aus dem Munde eines Franzosen kommt!

Armengaud jeune: Le probleme de l'Aviation. La solution par l'Aèroplane, Paris 1908. Populäre Darstellung mit zahlreichen Hinweisen auf die französische Literatur.

Flugtechnik.

J. Popper: Flugtechnik. Berlin 1889. Geistreiche und kritische Darstellung der theoretischen Flugtechnik. Heute natürlich schon vielfach veraltet. Für scharfe Denker aus der Schule Machs noch immer sehr lesenswert, als klassisches Werk der berühmten alten Wiener Flugtechnikerschule.

M. L. Marchis: Leçons sur la navigation aérienne. Paris 1904. Das vollständigste Lehrbuch der aerostatischen Luftschiffahrt. Vorwiegend theoretisch.

Soreau. Rodolphe: Le problème générale de la navigation dérienne Mémoire de la Société de Ingenieurs civ. de France, Paris 1897. — Navigation dérienne ibd. 1902. Zwei ausgezeichnete Arbeiten, die in der deutschen aeronautischen Literatur bisher leider fast unbeachtet geblieben sind.

J. Popper: Flugtechnische Studien. In „Zeitschrift für Luftschiffahrt etc." Berlin 1896 und 1899. Kritische Besprechung des Loesslschen Buches in glänzender Darstellung.

H. W. L. Moedebeck: Taschenbuch zum praktischen Gebrauch für Flugtechniker und Luftschiffer. 2. Aufl. Berlin 1904. In fünfzehn Kapiteln ist von elf Fachleuten die gesamte Aeronautik und Flugtechnik samt ihren Hilfswissenschaften abgehandelt. Die Bearbeitung

Digitized by Google

einzelner Kapitel mustergültig, insbesonders die Abhandlungen über die „Physik der Atmosphäre" von Kremser, sowie die Kapitel über die „Ballontechnik", das „Ballonfahren" und zum Teil auch über „Luftschiffe" von Oberstleutnant Moedebeck.

Der Flugtechnik sind drei Abschnitte gewidmet. Zwei davon und zwar „Dynamische Luftschiffe" und „Luftschrauben" sind von Major Hoernes, der dritte behandelt den „Kunstflug". Dieser Teil ist der wertvollste. Am wenigsten befriedigend sind die beiden zuerst genannten Abschnitte. Die Flugtechnik muß als direkt mißlungen bezeichnet werden, u. zw. in erster Linie wegen der prononzierten Hervorkehrung des subjektiven Standpunktes des Autors in der Luftwiderstandsfrage. Er hält die Luftwiderstandsgesetze durch die v. Loesslschen Formeln für „endgültig ermittelt" und teilt den Standpunkt v. Loessls seine Formeln seien „die notwendige, physikalische, mathematische Formulierung eines wirklich bestehenden Naturgesetzes." Abgesehen von diesem allzuengen Gesichtspunkte, finden sich aber leider auch im Texte prinzipielle Übersehen, auf welche man jeden Leser des „Taschenbuches" speziell aufmerksam machen müßte. Es sei hier bloß auf einige hingewiesen. In dem Abschnitt über das Luftwiderstandsgesetz treffen wir auf den Passus: „Die Kraft, welche die bewegte Luft ausübt, ist proportional dem Produkte aus der Masse der bewegten Luft mal dem Quadrat der Bewegungsgeschwindigkeit." Dieser Satz ist ersichtlich physikalisch nicht zulässig. Das Produkt aus Masse mal dem Quadrat der Geschwindigkeit nennen wir bekanntlich lebendige Kraft oder kinetische Energie, die Kraftwirkung bewegter Massen beim Auftreffen gegen einen Körper wird jedoch durch das Produkt aus der pro Sekunde stoßenden Luftmasse mit der Geschwindigkeit der Strömung bestimmt. Wer die Geschichte der theoretischen Flugtechnik kennt, der weiß, welch unheilvolle Irrtümer derartige Versehen bis in die neueste Zeit zur Folge gehabt haben. Es sei nur kurz bemerkt, daß sich in einem erst in jüngster Zeit lanzierten Projekt eines Wiener Oberingenieurs genau dieselbe Verwechslung zwischen der lebendigen Kraft und der Bewegungsgröße findet! Es handelt sich also da nicht etwa um bloße Haarspaltereien, sondern um prinzipielle Gesichtspunkte.

In dem Abschnitt über „Geradflieger" findet sich folgender Satz: „Das physikalische Grundprinzip, auf welchem sie (i. e. die Geradflieger) alle fußen, ist, durch eine entsprechende Flächenkombination soviel Luft in Bewegung zu versetzen, resp. zu verdrängen, daß der aerostatische Auftrieb größer oder gleich groß ist wie das Eigengewicht des Flugapparates. Sie basieren also alle auf dem archimedischen Prinzipe." Derartige Sätze sollte man in einem „Taschenbuch für Flugtechniker" doch wohl nicht finden, dieses soll doch, wie sein Herausgeber in der Vorrede so schön schreibt, den Zweck haben, „ohne mühsames Studium vieler Einzelwerke, ohne Durcharbeiten durch einen Wirrwarr von zum Teil recht widersinnigen Auffassungen", sich „die Erfahrungen aller Völker und Länder in kurzer Zeit anzueignen." Das „Taschenbuch" muß dem Laien ein Leitstern sein, dessen Führung er sich in Ruhe anvertrauen darf. An den Ausführungen im „Taschenbuch" soll es deshalb nichts

Digitized by Google

zu drehen und zu deuteln geben! Jedem Wort muß ein fixer Begriff entsprechen. Es ist bedauerlich, daß der Autor die streng umgrenzten Begriffe „aerostatischer“ und „aerodynamischer“ Auftrieb sozusagen als identisch ansehen und erklären kann, die „aerodynamischen Flugmaschinen beruhen alle auf dem archimedischen Prinzip“. In dem Kapitel über Sinkverminderung steht Hoernes auf dem Standpunkte der v. Loesslschen Sinkformel, die als empirische Formel bezeichnet wird, was nicht zutreffend ist. Josef Popper hat darauf hingewiesen, daß diese Formel als inhomogen physikalisch unhaltbar ist, die Physiker Mach und Boltzmann haben dies ausdrücklich bestätigt. Es ist deshalb unwissenschaftlich, eine derartige Formel weiter anzuwenden. Alle an sie geknüpften Folgerungen sind unhaltbar. Die einzig physikalisch zulässige Behandlung des Gleit-, bzw. Sinkproblems, ist die im theoretischen Anhang in Übereinstimmung mit Popper u. a. gegebene. Hoernes stimmt auch der Loesslschen Ableitung des „Luftwiderstandsgesetzes“ zu. Er schreibt: „Außer durch Versuche kommt v. Loessl auch auf analytischem Wege auf das gleiche Resultat. Sein Gedankengang ist hierbei kurz folgender: Bewegt sich eine Fläche von a nach b, so verdrängt sie pro Sekunde, einmal das ihr im Wege stehende Luftquantum vom Ausmaß: $F. v = q$ und, nachdem diese Luft auch seitlich deponiert werden muß, noch einmal so viel seitliche Luft q. Also ist im ganzen das Gewicht der in Bewegung versetzten Luft: $G = q + q = 2 j F v$. Die hierzu nötige Arbeit $L = m . v^2 (v = G . v^2) 2 g = 8/g . F v^3$. Nachdem aber $L = R' . v$ ist, so folgt daraus $R' = j/g . F . v^3$.“ Jeder kritische Denker wird die logischen und mechanischen Trugschlüsse sofort herausfinden, an denen dieser angeblich „analytische Beweis“ leidet. Um derartige „Fußangeln“ der Flugtechnik und Aerodynamik, in welche der ungeübte Denker bei jedem Schritt tritt, vermeiden zu lernen, muß immer wieder das Studium der Werke von Mach und Popper empfohlen werden.

Auch das Kapitel über Luftschrauben entspricht nicht den Anforderungen, die an einen Kanon zu stellen sind. Die Behandlung des Stoffes ist wieder einseitig und weist Lücken auf; es werden Sätze als Erfahrungssätze über Luftschrauben hingestellt, von denen eine Reihe bloß das Ergebnis rein theoretischer Untersuchungen sind.

Den vorausstehenden Bemerkungen liegt natürlich jede polemische Tendenz völlig ferne. Der Autor hielt sich aber für verpflichtet, im Interesse des Fortschrittes der Flugtechnik, Anfänger auf die besprochenen Mängel aufmerksam zu machen, um so mehr, als das „Taschenbuch“, wie schon erwähnt, in den übrigen Kapiteln zur Orentierung bestens empfohlen werden kann.

W. Kress: Aviatik. Wie der Vogel fliegt und wie der Mensch fliegen wird. Wien 1905. — Aeronautische Autobiographie des Autors. Darstellung namentlich bezüglich der Entwicklung der Flugtechnik unkritisch und vielfach auch historisch unkorrekt. Der Versuch Kress', die Priorität des Drachenfliegers für sich in Anspruch zu nehmen, muß als den Tatsachen nicht entsprechend bezeichnet werden. Wenn man überhaupt von einer „Priorität“ in diesem Falle sprechen kann, so gebührte diese ohne Zweifel Pénaud, denn dieser hat tatsächlich den ersten Drachenflieger zum freien Fluge gebracht. Da

Digitized by Google

in neuerer Zeit Anhänger Kress', die mit dem Gegenstande nicht recht vertraut waren, die Sache so darzustellen suchten, als ob dieser den Drachenflieger überhaupt erst erfunden hätte, ist es wohl nicht überflüssig, auf diesen Punkt hinzuweisen. Der Kress'sche Drachenflieger zeigte eine Reihe von Details, die sich schon im Projekte Pénaud finden. Die Bewegung beider Steuer durch einen Hebel, die Form und Konstruktion der Tragflächen, der Bau der Schrauben, das Pénaudsche Steuer, alle diese Details treffen wir schon bei Pénaud. Wenn Kress in seinem Buche etwas selbstgefällig schreibt: „Ich kann mir schmeicheln, 1877 das erste Modell eines Drachenfliegers gebaut zu haben . . . ohne vorher eine Ahnung von ähnlichen Bestrebungen anderer gehabt zu haben, so stimmt diese Behauptung nicht recht zu folgendem Satze, mit dem Hoernes in seinem Buche: Die Luftschiffahrt etc. 1903 die aeronautische Biographie von Kress einleitet: „Kress, ein Russe, der lange Zeit in Petersburg, dann in Paris lebte und dort ein Schüler Pénauds war, beschäftigt sich, gegenwärtig in Wien domizilierend, seit mehr als 30 Jahren mit der Konstruktion von Drachenfliegern."

Wenn Kress, in der Tat schon 1864 Luftschrauben gebaut hat und er beim Drachensteigenlassen auf die Idee seines Drachenfliegers gekommen sei und er kurz darauf sein erstes Modell, durch Uhrschrauben getrieben, gebaut habe, so mag man dies wohl glauben, bewiesen ist diese Behauptung jedenfalls bisher nicht worden, sie kann deshalb auch keinen Anhaltspunkt für die Aufrollung von Prioritätsfragen bilden. Erst 1877 hat Kress mittels gedrehter Gummischnüre sein erstes Modell zum freien Fluge gebracht, und 1880 zum erstenmale öffentlich demonstriert. Dieses Modell hatte bloß eine Tragfläche und besaß zwei Schrauben zum Antrieb. Die Stabilisierung wurde durch ein Pénaudsteuer erzielt. Prinzipiell neues war also am Kressschen Modell eigentlich nichts. Und doch hat sich Kress durch den Bau seiner Modelle unstreitig Verdienste um die Förderung der Flugtechnik erworben, nur liegen diese nicht dort, wo sie von enthusiasmierten Freunden, die ohne hinreichende Fachkenntnis über den Kressschen Drachenflieger schrieben, gesucht wurden. Als es seinerzeit galt, die Taschen der Mäcene für den Kressfond zum Bau seines Drachenfliegers zu öffnen, mochte man ja der guten Sache zuliebe über Verstöße gegen die historische Wahrheit hinwegsehen. Heute sind die Akten über den Kressschen Drachenflieger geschlossen. Es handelt sich jetzt nicht mehr um die Frage, was dieser hätte alles leisten können, wenn dies und jenes nicht geschehen wäre, sondern darum, was tatsächlich geleistet wurde. Und da zeigt sich denn, daß der Kresssche Drachenflieger eben auch nicht mehr gewesen ist, als ein Glied in der langen Kette der Entwicklung.

Es hat keinen Sinn, Prioritätsfragen in Sachen der Flugtechnik aufzurollen; es könnte ja sonst sein, daß der Erbauer des ersten, wirklich vollkommen flugfähigen Apparates überhaupt kein Verdienst mehr für sich in Anspruch nehmen könnte, weil sein Apparat vielleicht aus lauter bekannten Details bestehen wird. Das wäre gerade so naiv, wie wenn man das Werk eines Baukünstlers nach den Elementen beurteilen würde, aus denen er seinen Bau aufführt.

Digitized by Google

J. W. Lerwal: Flugtechnische Studien als Beitrag zur modernen Flugtechnik. Wien 1902. Aus zahlreichen Bemerkungen erhellt, daß der Autor mit der flugtechnischen Literatur gar nicht vertraut ist. Er wartet z. B. noch immer (1902) auf die Publikation der Versuche mit dem Wellnerschen Segelrade! Das einzige Buch, das ich, als ich seinerzeit für eine Fachschrift darüber zu referieren hatte, nicht völlig zu Ende zu lesen vermochte! Ich habe es seither doch fertig gelesen. Mein Urteil hat sich aber nicht geändert. Zur Charakterisierung der Schrift werden einige Bemerkungen genügen. Bei der Besprechung der bekannten Erfahrung, daß bei gleicher Flügelgröße lange, schmale Flügel günstiger für den Flug sind als kurze und breite fügt der Autor, der sich als Ingenieur zeichnet, die Bemerkung an: „ein Ergebnis, das, wie wir wissen, auch dem Volksglauben entspricht, welch letzterer selten trügt.“ (!!) Ferner glaubt der Autor noch an die gewichtserleichternde Kraft der Luftsäcke der Vögel. Lerwal (ein Pseudonym!) schreibt: In den hohen Luftschichten, wo die Temperatur der äußeren Luft von der Vogelwärme des Vogels wesentlich zurücksteht, wird die in den Luftsäcken befindliche Luft, ganz ähnlich, wie bei einem mit erwärmter Luft gefüllten Ballon, wirken und das Schweben des Vogels begreiflicherweise sehr erleichtern.“ (!) Jedes Wort darüber müßte die erheiternde Wirkung dieser Zeilen abschwächen.

Das ganze Buch, das ein „Beitrag zur modernen Flugtechnik“ sein will, scheint nur zur Lanzierung des abstrusen Flugmaschinenprojektes des Verfassers geschrieben zu sein. Der Stil ist so schwulstig, daß man sich nur schwer als Autor einen „Ingenieur“ vorstellen kann! Man kann ersticken, wenn man immer nur von Satz zu Satz Atem holt. Die Berechnungen über die Flugarbeit der Vögel und alle folgenden sind völlig unhaltbar. Ein alter Fehler, in den undisziplinierte Denker und solche, die sich die Mühe ersparen wollen, die Literatur zu studieren, ehe sie über Flugtechnik schreiben, immer und immer wieder verfallen.

A. Budau: Die mechanischen Grundgesetze der Flugtechnik. Wien 1903. — Der Verfasser geht bei seinen Berechnungen immer von dem pro Zeiteinheit verdrängten Luftvolumen aus und behandelt alle Flieger als Ventilatoren. Die Arbeit soll „die Quintessenz der Turbinentheorie auf die Flugschiffahrt zugestutzt“ zur Darstellung bringen. Für Vorgeschrittene ist die vielfach sehr geistreiche Arbeit, selbst wenn man den prinzipiellen Standpunkt des Verfassers nicht teilen sollte, doch recht lesenswert und anregend.

Stanton: Experiments on wind pressure (Proc. Inst. Civ. Eng. 1907/08, Bd. 1). Bericht über die im Auftrag des National Physical Laboratory auf einem 15 Meter hohen Turme aus Eisenkonstruktion ausgeführten Versuche mit Flächen von $3 \times 3\ m^2$, $3 \times 1{\cdot}5$ und $1{\cdot}5 \times 1{\cdot}5\ m^2$. Es ergaben sich für Winddruck (Koeffizienten K) bei senkrechtem Stoß Werte zwischen 0·00322 und 0·00318 ($W = K \,.\, V^2$).

J. Dickl: Zur Effektberechnung von Flugmaschinen. Wien 1904. Mit Aufwand eines großen mathematischen Ballastes sucht der Autor die Schwebeenergie von Schwingen-, Rad- und Schraubenfliegern zu berechnen. Er wendet bei seinen Rechnungen eine ver-

Digitized by Google

altete Methode an, geht immer von der zum Stoß gelangenden Luftmenge aus, über die wir ja noch wenig Bestimmtes aussagen können, und legt seinen Reduktionen das Newtonsche Luftwiderstandsgesetz zugrunde. Der Autor ist ersichtlich mit der flugtechnischen Literatur nicht genügend vertraut. Seine Ausführungen verdienen deshalb wenig Beachtung, sie stellen leider eine völlig wertlose Energieverschwendung dar. Der geschätzte Autor möge sich durch diese Kritik nicht verletzt fühlen. Sie mag ihm vielmehr eine Anregung sein, seine Arbeit auf eine moderne Basis zu stellen; es ist möglich, daß dann noch eine recht wertvolle Leistung zustande kommt. Der Techniker muß derzeit der Aeronautik und Flugtechnik genau ebenso ein spezielles und eingehendes Studium widmen, wie irgend ein anderer Laie, wenn er in diesen Disziplinen Wertvolles schaffen will. Die Arbeit Dickls kann auch als klassisches Beispiel gelten für den Mißbrauch der Mathematik.

A. Samuelson: Luftwiderstand und Flugfrage. Hamburg 1904. Der Autor stellt eine ganze Reihe von Gesetzen über den Luftwiderstand auf, denen er den Rang von Naturgesetzen beimißt. Mehrere von diesen „Gesetzen" stammen vom Verfasser selbst, sie sind aber zum Teil direkt falsch, zum Teil nicht allgemein gültig. Der Vorgeschrittene mag sich an dem Stile des Autors erheitern, der Anfänger nehme die Arbeit zunächst lieber nicht zur Hand.

H. Hoernes: Lenkbare Ballons. Leipzig 1903. Das gegenwärtig umfangreichste Werk über Motorballons. Der Autor steht leider auf zu einseitigem Standpunkt. Er spricht den Riesenlenkballons das Wort und behandelt die ballonfreie Flugmaschine als Größe zweiter Ordnung. „Auf Grund von über 20.000 Rechnungsmanipulationen", sucht der Autor die praktische Überlegenheit der großen Lenkballonkonstruktionen zu erweisen. Der „Beweis" erscheint aber nicht zwingend, da die Grundlagen schwankend sind. Theoretisch, oder besser gesagt, auf dem Papier, ist ja der größere Ballon unter sonst gleichen Umständen der lenkbare. Handelt es sich aber um die praktische Ausführung, dann kommen noch mehrere Umstände ins Spiel, welche die theoretische Lenkbarkeit praktisch vermindern. Auch gibt es höchstwahrscheinlich eine kritische Größe des Balloninhaltes, über den wir nicht hinausgehen können. Die Grenze ist dort erreicht, wo formstarre Versteifungen des Tragkörpers nötig werden.

Durch bloße „Rechnungsmanipulationen" läßt sich auf einem Gebiete, wo noch so wenig empirische Daten vorliegen, wenig oder nichts beweisen. Man soll derartige vergleichende Rechnungen derzeit deshalb lieber ganz vermeiden. Man kann doch nicht die ganze weitere Entwicklung des Lenkballons voraus in bestimmte Bahnen lenken und ihr Beschränkungen auferlegen. Wer kann heute voraus sagen, was wir noch für prinzipielle Verbesserungen erwarten dürfen? Was kann man da aus überschlägigen Rechnungen, die sich bloß auf die bisherigen wenigen Versuche beziehen, viel lernen, für künftige Konstruktionen? Der individuellen Begabung des einzelnen Konstrukteurs ist ja noch ein weites Feld zur Betätigung gegeben.

Die vom Autor aufgestellten Sätze über die Einflüsse des relativen Ballonhüllengewichtes, des relativen Ballontraggerüstes, des relativen

Digitized by Google

Ballonmotorengewichtes, der Rumpflänge, des relativen Ballongesamtgewichtes, stellen theoretische Sätze dar, die zum Teil aus geometrischen und physikalischen Prinzipien a priori als selbstverständlich erscheinen, von denen aber alle nicht ohneweiters gültig sind. Daß man mit größeren Ballons auch notwendig größere Geschwindigkeiten erreichen muß, ist nicht zutreffend. Darüber läßt sich derzeit gar nichts Bestimmtes aussagen. Sicher ist bloß, daß man mit kleinen Ballons nicht große Nutzlasten wird tragen können. Ich bin der Meinung, daß der aerostatische Ballon zum Transport großer Lasten überhaupt nicht geschaffen ist. Jedenfalls wäre es müßig, darüber heute in ernster Weise zu diskutieren.

Nimführ, Raimund: Zusammenstellung der Publikationen des Autors bis 1904 im „Bücherverzeichnis des Wiener Flugtechnischen Vereines".

Der Tierflug.

Das Studium der Mechanik der Flugbewegung der organischen Flieger ist dem angehenden Flugtechniker noch immer sehr zu empfehlen. Wenn man nicht auf Irrwege gelangen will, muß man sich indes von jeder allzuweit getriebenen Naturschwärmerei frei halten. Als grundlegendes Werk über den Vogelflug hat zu gelten:

E. Marey: Le vol des oiseaux, Paris 1890.

Es sei auch besonders auf die im Anhang des Mareyschen Werkes publizierte Arbeit von Labouret hingewiesen, eine höchst wertvolle Studie auf Grundlage der Photochronographien Mareys.

Von den neueren Publikationen über den Vogelflug sei von Werken der deutschen Literatur in erster Linie auf nachstehende Arbeit aufmerksam gemacht:

F. Ahlborn: Zur Mechanik des Vogelfluges; Hamburg 1896.

Brehm: Tierleben. Die Vögel. Nach dem Studium der vorausgehenden Schriften eine sehr anregende Lektüre. Vorher aber nicht zu empfehlen wegen der ganz unzulänglichen Flugmechanik des Autors. Brehm ist sich über die mechanische Funktion des Flügelschlages nicht ganz klar geworden, er schreibt z. B., daß Rückenwind dem Vogel die Federn lockere und überhaupt seinen Flug beeinträchtige und ähnliches mehr. Wer über diese Mängel hinwegsieht, wird in den glänzenden Schilderungen des trefflichen Beobachters eine Quelle großen Genusses finden.

Aerodynamik und spezielle Flugtechnik.

Aus der heimischen Literatur seien zu eindringendem Studium empfohlen die zahlreichen neueren Publikationen von Wellner, dann die Arbeiten von Jarolimek und Popper. Diese sind meist in der „Zeitschrift für Luftschiffahrt usw.", Berlin und der „Zeitschrift des österreichischen Ingenieure- und Architektenvereines" publiziert; zum Teil sind sie im Bücherverzeichnisse des „Wiener Flugtechnischen Vereines" zitiert.

S. Finsterwalder: Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften. Bd. IV, H. 2. Aerodynamik. Leipzig 1903. Übersichtliche

Digitized by Google

Darstellung mit ausgedehntem Literaturnachweis, in dem aber leider die neueren französischen Publikationen auf dem Gebiete der Aerodynamik und Flugtechnik zu wenig Beachtung gefunden haben.

S. P. Langley: Experiments in Aerodynamics. Washington. 1. Aufl. 1891, 2. Aufl. 1902. Ausführlicher Bericht über die grundlegenden Versuche über den Luftwiderstand von flächenförmigen Körpern. Ein standard work der Aerodynamik, in dem ungeschminkt und nicht zugestutzt für eine vorgefaßte Theorie die Ergebnisse der experimentellen Studien niedergelegt sind. Es ist bedauerlich, daß von dem Buche bisher keine deutsche Übersetzung vorhanden ist.

Lanchester F. W. Aerodynamics. London 1907. — 442 Seiten Großoktav. Ein Handbuch der Aerodynamik, das an dem einzigen Fehler leidet, daß die ausländische, besonders die deutsche und französische Literatur fast ganz unberücksichtigt geblieben ist. Der Autor hatte leider erst bei Ablieferung des letzten umbrochenen Bogens an die Druckerei Gelegenheit, in das Werk Einblick zu nehmen, es konnte folglich auf seine Darstellung keinen Einfluß mehr nehmen.

Wuich Nikol., Frhr. v. Lehrbuch der äußeren Ballistik, Wien 1882. — Das Kapitel über die „Theorie des Luftwiderstandes“ (in der ersten Lieferung enthalten) wegen seines systematischen und streng logischen Aufbaues sowie der schönen Darstellung sei jedem Flugtechniker, der tiefer in die Theorie der Aerodynamik eindringen will, als literarischer Leckerbissen besonders empfohlen. Der Autor wurde erst nach Abschluß vorliegenden Buches auf das Werk des berühmten österreichischen Ballistikers aufmerksam, so daß dieses leider im theoretischen Teile keine Berücksichtigung mehr finden konnte.

F. Ahlborn: Über den Mechanismus des hydrodynamischen Widerstandes. Hamburg 1902. — Der Schwebeflug und die Fallbewegung ebener Tafeln in der Luft. Über die Stabilität der Flugapparate. Hamburg, 1898. — Vorstehende beiden Arbeiten möchte ich den wertvollsten Publikationen der neueren flugtechnischen Literatur beizählen und deren Studium jedem, der in die Theorie der Flugtechnik tiefer eindringen will, angelegentlichst empfehlen. Es finden sich in beiden Arbeiten in den theoretischen Deduktionen mehrere kleine Mängel, die der Leser der vorausgehenden Aufsätze aber leicht selbst richtigstellen wird. Die Grundlagen und die Ergebnisse der Publikationen Ahlborns werden dadurch indes nicht berührt. Es ist bedauerlich, daß Ahlborn seine Arbeiten in so unzugänglicher Form publiziert hat. Sie erschienen fast alle in den „Abhandlungen aus dem Gebiete der Naturwissenschaften“, herausgegeben vom Naturwissenschaftlichen Verein in Hamburg.

E. u. L. Mach: Abhandlungen in der Zeitschrift für Luftschiffahrt 1896 und den Sitzungsberichten der Wiener Akademie 1887, 1889, 1896.

A. Frank: Versuche über die Abhängigkeit des Luftwiderstandes von der Körperform in Annalen der Physik 1905 und Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1906. Nach der Pendelmethode hat der Autor außerordentlich sorgfältige Versuche angestellt über den Luftwiderstand verschiedener Körperformen. Die Ergänzung dazu bildet die folgende Publikation. — Versuche zur Ermittlung des Luftwiderstandes der der Bewegungsrichtung parallelen Seitenflächen

Digitized by Google

der Körper. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure vom 29. September 1908. Ebenfalls außerordentlich schätzenswerte Arbeit. Sorgfältige Versuche über den Reibungswiderstand der Luft ausgeführt nach der Pendelmethode.

Mannesmann: Luftwiderstandsmessungen mit einem neuen Rotationsapparat. Annalen der Physik 1899.

Zahm: Abhandlungen über Luftreibung an ebenen Flächen und Luftwiderstand bei großen Geschwindigkeiten in Philosophical Magazine 1904.

F. v. Loessl: Die Luftwiderstandsgesetze, der Fall durch die Luft und der Vogelflug. Wien 1896. Darstellung der experimentellen Aerodynamik und der Theorie des Vogelfluges auf der Basis der Loesslschen Lufthügeltheorie und der Sinkformel. Beachtung folgender Sätze: Die Loesslschen Luftwiderstandsformeln sind nicht allgemein gültige Gesetze, sondern bloße Näherungs-(Faust-)formeln, die nur für ebene Flächen gelten und auch für diese nur unter gewissen Beschränkungen. Die Lufthügeltheorie ist eine unbewiesene Hypothese. Die Loesslsche Sinkformel ist theoretisch und praktisch unhaltbar. Die Theorie des Vogelfluges ist physikalisch unzulässig. Der behauptete Vorteil der Intermittenz des Flügelschlages gegenüber kontinuierlicher Bewegung ist ein Trugschluß und mechanisch nicht begründet. Der Leser möge sich durch den dogmatischen Ton der Darstellung nicht beirren lassen, auch nicht durch den steten Hinweis auf die „experimentelle Grundlage". Der Autor steht nicht auf dem Standpunkte des voraussetzungslosen Forschers, er streckt alle seine Versuchsergebnisse auf das Prokrustesbett einer vorgefaßten Theorie, die eigentlich nur ein Konglomerat von Hypothesen darstellt. Wer sich veranlaßt sehen sollte, das Buch zur Hand zu nehmen, darf nicht versäumen, auch die zitierten Arbeiten von Popper und Ahlborn zu lesen.

Von der neueren ausländischen Literatur wären besonders beachtenswert die Arbeiten von Pénaud, Renard, Rayleigh, Chanute, Langley, Maxim, Soreau, Goupil, Dines u. a. Im folgenden können bloß einige der wichtigsten zitiert werden:

Ch. Renard: Abhandlungen über den Luftwiderstand, über Luftschrauben und Schraubenflieger in den Comptes Rendus der Pariser Akademie. 1903, 1904.

Rayleigh: Abhandlungen über den Widerstand der Flüssigkeiten, den Segelflug und die mechanischen Prinzipien des Vogelfluges in den gesammelten „Scientific Papers", (4 Bd.) des Autors.

Dines: Abhandlungen über den Winddruck gegen gewölbte und geneigte Flächen in den Proceedings of the Royal Society. London, 1890 und 1892.

Eiffel, Canovetti und Cailletet und Collardeau: Abhandlungen über den Luftwiderstand von Fallkörpern in den Comptes Rendus, Paris, 1892, 1900 und 1907.

P S. Langley: Zahlreiche Abhandlungen in den Smithsonian Reports, Washington.

H. Maxim: Arbeiten über den Luftwiderstand, über die Versuche mit seinem Drachenflieger. Revue de l'Aeronautique, Paris

Digitized by Google

1892, Journal of the Society of Arts, London 1894, Aeronautical Annual, worin sich auch schätzenswerte Arbeiten von Chanute, Herring u. a. befinden.

Knoller Richard: Die Stabilität der Drachenflieger. In Mitteilungen des Vereines „Flugmaschine“ (Wien), September 1908. — Eine ausgezeichnete Arbeit, welche dem Autor leider erst bei Abschluß des Werkes zukam. Es sei deshalb wenigstens hier noch auf sie hingewiesen.

Hilfswissenschaften.

Als solche kommen vor allem in Betracht: Mathematik, Mechanik, Physik, Meteorologie, Maschinenbau und Technologie.

In der Mathematik und in den beiden zuletzt genannten Disziplinen ist an guten Lehrbüchern kein Mangel. Für die übrigen Wissenschaften seien speziell empfohlen:

Mach E.: Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Historisch-kritisch dargestellt. Leipzig, 5. Aufl. 1904.

Hann J.: Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig, 2. Aufl. 1905.

Chwolson O. D.: Lehrbuch der Physik. 4 Bde., Leipzig, 1902—1905.

Assmann R. und Berson A.: Wissenschaftliche Luftfahrten. 3 Bde. Leipzig.

Aeronautische und flugtechnische Bibliographie.

Tissandier, G., Bibliographie aéronautique.

Kühl, W. H. Aeronautische Bibliographie, I. und II. Teil: 1670—1895.

Bücherverzeichnis des Wiener flugtechnischen Vereines, verfaßt von Karl Milla.

Zeitschrift für Luftschiffahrt. Berlin 1882—1900.

Aeronautische Fachschriften.

Von den periodisch erscheinenden aeronautischen Fachschriften kommen in erster Linie in Betracht:

In deutscher Sprache:

Deutsche Zeitschrift für Luftschiffahrt (Illustrierte aeronautische Mitteilungen), als Vierteljahrsschrift, begründet durch H. W. L. Moedebeck, jetzt redigiert von Dr. H. Elias, monatlich zweimal. Berlin (seit 1897).

In französischer Sprache:

l'Aérophile. erscheint jetzt halbmonatlich, herausgegeben von G. Besançon. Paris (seit 1893).

In englischer Sprache:

The Aeronautical Journal, vierteljährig. London (seit 1897).

Digitized by Google

Namen- und Sachregister.

(Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen; ein beigeschriebenes B weist auf die Figur und Legende der betreffenden Seite hin.)

A.

B.

Digitized by Google

Digitized by Google

F.

G.

H.

Digitized by Google

Digitized by Google

Q.

R.

S.

Digitized by Google

T.

V.

W.

Digitized by Google

Y.

Z.

Digitized by Google

Raum für Notizen.

Digitized by Google

Raum für Notizen.

Digitized by Google




Die

Luftschiffahrt der Gegenwart

Von Hauptmann **Hermann Hoernes.**

Mit einer Tafel und 161 Abbildungen.
18 Bogen. Groß-Oktav. Gebdn. 5 K 50 h = 5 M.

Die Luftfahrzeuge der Zukunft

für Personen- und Warenverkehr und die Aussichten der Luftschiffahrt.

Von **Hermann Hoernes.**

Mit 18 Abbildungen.
8 Bogen. Oktav. Gebdn. 4 K 40 h = 4 M.

Über Ballonbeobachtungen und deren graphische Darstellung

mit besonderer Berücksichtigung meteorologischer Verhältnisse.
Im Anhange: **Ausgeführte Ballonreisen zu wissenschaftlichen Zwecken.**

Von **Hermann Hoernes.**

Mit 2 Tafeln und 9 Figuren im Text.
4 Bogen. Oktav. Geh. 1 K 60 h = 1 M. 50 Pf.

Barometrische

Höhenmessungen u. Reduzierungen

zum praktischen Gebrauche von Jelineks Tafeln.

Von **August Krisch.**

Mit 8 Tafeln. 3 Bogen. Groß-Oktav. Geh. 2 K 20 h = 2 M.

A. Hartleben's Verlag in Wien und Leipzig.

Digitized by Google



Digitized by Google


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06832 4311